

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Applicant(s): INOGUCHI, et al.

Group Art Unit: TBA

Serial No.: 10/728,425

Examiner: TBA

Filed: December 4, 2003

For: IMAGE DISPLAY APPARATUS AND IMAGE DISPLAY SYSTEM

CLAIM TO CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
 P.O. Box 1450
 Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In the matter of the above-identified application and under the provisions of 35 U.S.C. §119 and 37 C.F.R. §1.55, applicant(s) claim(s) the benefit of the following prior application(s):

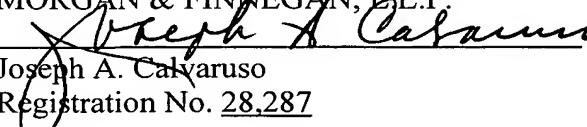
Application(s) filed in: Japan
 In the name of: Canon Kabushiki Kaisha
 Serial No(s): 2002-352922
 Filing Date(s): December 4, 2002

Pursuant to the Claim to Priority, applicant(s) submit(s) a duly certified copy of said foreign application.

A duly certified copy of said foreign application is in the file of application Serial No. _____, filed _____.

Dated: February 11, 2004

By:

Respectfully submitted,
 MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

 Joseph A. Calvaruso
 Registration No. 28,287

Correspondence Address:
 MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
 345 Park Avenue
 New York, NY 10154-0053
 (212) 758-4800 Telephone
 (212) 751-6849 Facsimile



Docket No. 1232-5216

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): INOGUCHI, et al.

Group Art Unit: TBA

Serial No.: 10/728,425

Examiner: TBA

Filed: December 4, 2003

For: IMAGE DISPLAY APPARATUS AND IMAGE DISPLAY SYSTEM

CERTIFICATE OF MAILING (37 C.F.R. §1.8(a))

Mail Stop
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

I hereby certify that the attached:

1. Claim to Convention Priority w/ document
2. Certificate of Mailing
3. Return postcard receipt

along with any paper(s) referred to as being attached or enclosed and this Certificate of Mailing are being deposited with the United States Postal Service on date shown below with sufficient postage as first-class mail in an envelope addressed to the: Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450.

Respectfully submitted,
MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.

Dated: February 17 2004

By:

Helen Tiger

Correspondence Address:

MORGAN & FINNEGAN, L.L.P.
345 Park Avenue
New York, NY 10154-0053
(212) 758-4800 Telephone
(212) 751-6849 Facsimile

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日 2002年12月 4日
Date of Application:

出願番号 特願2002-352922
Application Number:

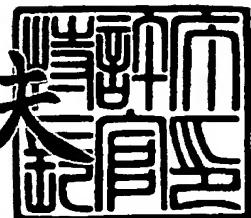
[ST. 10/C] : [JP2002-352922]

出願人 キヤノン株式会社
Applicant(s):

2003年12月22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 225146
【提出日】 平成14年12月 4日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02B 3/00
【発明の名称】 画像表示装置および画像表示システム
【請求項の数】 17
【発明者】
【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
【氏名】 猪口 和隆
【発明者】
【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
【氏名】 松永 智美
【発明者】
【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
【氏名】 山崎 章市
【特許出願人】
【識別番号】 000001007
【氏名又は名称】 キヤノン株式会社
【代理人】
【識別番号】 100067541
【弁理士】
【氏名又は名称】 岸田 正行

【選任した代理人】**【識別番号】** 100104628**【弁理士】****【氏名又は名称】** 水本 敦也**【選任した代理人】****【識別番号】** 100108361**【弁理士】****【氏名又は名称】** 小花 弘路**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 044716**【納付金額】** 21,000円**【提出物件の目録】****【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【プルーフの要否】** 要



【書類名】 明細書

【発明の名称】 画像表示装置および画像表示システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 原画像を表示する单一の画像表示素子と、

前記画像表示素子からの光を瞳の近傍に配置される観察者の左右の眼に導く左眼用光学系および右眼用光学系とを有し、

前記画像表示素子から前記瞳に進む光を前記瞳側から逆トレースしたとき、前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、

前記瞳からの逆トレース光を左右方向外側に反射する第1の反射面と、

前記第1の面で反射した逆トレース光をさらに左右方向外側に反射する第2の反射面とを有することを特徴とする画像表示装置。

【請求項 2】 前記左眼用光学系および右眼用光学系が、前記画像表示素子の中心を通る垂直面に対して左右で鏡面対称となるように構成されていることを特徴とする請求項1に記載の画像表示装置。

【請求項 3】 前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、水平面に対して上下で面对称となるように構成されていることを特徴とする請求項1に記載の画像表示装置。

【請求項 4】 前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、前記第1および第2の反射面を含む複数の反射面を有し、

前記複数の反射面のうち少なくとも1つの反射面が偏心曲面であることを特徴とする請求項1に記載の画像表示装置。

【請求項 5】 前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、前記第1および第2の反射面を含む複数の反射面を有し、

前記複数の反射面のうち少なくとも1つの反射面が回転非対称面であることを特徴とする請求項1に記載の画像表示装置。

【請求項 6】 前記左眼用光学系および右眼用光学系内において、前記画像表示素子からの光が中間結像することを特徴とする請求項1に記載の画像表示装置。

【請求項 7】 前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、

前記第2の面で反射した逆トレース光を再度、前記第2の面で反射させるように反射して戻す折返し反射面を有することを特徴とする画像表示装置。

【請求項8】 原画像を表示する单一の画像表示素子と、
前記画像表示素子からの光を観察者の左右の眼に導く左眼用光学系および右眼
用光学系とを有し、
前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、
前記画像表示素子からの光を反射する第1の面と、
前記第1の面で反射した光を再度、前記第1の面で反射せるように反射して
戻す第2の反射面とを有することを特徴とする画像表示装置。

【請求項9】 前記左眼用光学系および右眼用光学系が、前記画像表示素子
の中心を通る垂直面に対して左右で鏡面対称となるように構成されていることを
特徴とする請求項8に記載の画像表示装置。

【請求項10】 前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、水平面
に対して上下で面对称となるように構成されていることを特徴とする請求項8に
記載の画像表示装置。

【請求項11】 前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、前記第
1および第2の反射面を含む複数の反射面を有し、
前記複数の反射面のうち少なくとも1つの反射面が偏心曲面であることを特徴
とする請求項8に記載の画像表示装置。

【請求項12】 前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、前記第
1および第2の反射面を含む複数の反射面を有し、
前記複数の反射面のうち少なくとも1つの反射面が回転非対称面であることを
特徴とする請求項8に記載の画像表示装置。

【請求項13】 前記左眼用光学系および右眼用光学系内において、前記画
像表示素子からの光が中間結像することを特徴とする請求項8に記載の画像表示
装置。

【請求項14】 前記左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、透明体
に前記第1および第2の反射面を一体形成したプリズム状の光学素子を有して構
成されており、

前記光学素子の少なくとも 1 つの光学面が、内部全反射と透過との両作用を兼用させた面であることを特徴とする請求項 8 に記載の画像表示装置。

【請求項 15】 前記原画像の中心から瞳の中心に至る光線を中心画角主光線とするとき、

前記第 1 の面で反射された中心画角主光線が前記第 2 の面に入射し、第 2 の面で反射されて再度、前記第 1 の面に向かう際の前記第 2 の面への入射光線と射出光線とのなす角度 θ が、

$$\theta < 45^\circ$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 8 に記載の画像表示装置。

【請求項 16】 請求項 1 から 7 のいずれかに記載の画像表示装置と、前記画像表示素子に原画像を表示させるための画像情報を前記画像表示装置に供給する画像情報供給装置とを有することを特徴とする画像表示システム。

【請求項 17】 請求項 8 から 15 のいずれかに記載の画像表示装置と、前記画像表示素子に原画像を表示させるための画像情報を前記画像表示装置に供給する画像情報供給装置とを有することを特徴とする画像表示システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、単一の画像表示素子に表示された原画像を観察者の眼に拡大して観察させるヘッドマウントディスプレイ等の画像表示装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、LCD（液晶ディスプレイ）等の画像表示素子を用い、この画像表示素子に表示された原画像を光学系を介して拡大表示させる頭部装着型の画像表示装置（いわゆるヘッドマウントディスプレイ）がよく知られている。

【0003】

このヘッドマウントディスプレイは観察者の頭部に装着するため、特に装置全体の小型化、軽量化が要望されている。また、重量バランスや外観等を考慮すると、観察者の視軸方向に薄型であることが好ましい。さらに、表示される拡大像

に迫力を持たせるために、できるだけ大きな拡大像が望まれている。

【0004】

例えば、下記の特許文献1～4には、画像表示素子としてのLCDと、観察光学系としての薄型プリズムとを使用し、装置全体の薄型化を図ったヘッドマウントディスプレイが提案されている。

【0005】

図16には、特許文献1にて提案されているヘッドマウントディスプレイを示している。このヘッドマウントディスプレイにおいて、LCD111から発せられた光は、小型の偏心プリズム112の入射面113に入射する。そして、プリズム112に形成した曲率を有した反射面114と反射面115との間で光束が折り畳まれ、その後、面114より偏心プリズム112から射出して観察者の眼Eに導かれる。これによってLCD111に表示された原画像の虚像が形成され、この虚像を観察者が観察する。

【0006】

偏心プリズム112の反射面115は、偏心回転非対称面（アジムス角度により光学的パワーの異なる面であり、いわゆる自由曲面）で構成された偏心自由曲面より構成されている。

【0007】

図16に示す光学系のタイプは、従来の共軸凹面鏡と眼球光軸に対して45°傾いたハーフミラーとを用いたタイプに比べ、装置全体の薄型化および観察視野の広画角化が容易であるという特徴を有する。

【0008】

一方、ヘッドマウントディスプレイにおいても、他の画像表示装置と同様に安価で提供されることが望まれている。これに対する解答の1つとして、単一の画像表示素子を用い、この画像表示素子に表示された単一の原画像を左右それぞれの眼に導く光学系とを組み合わせた単一原画双眼観察型のヘッドマウントディスプレイが、特許文献5等に開示されている。

【0009】

図17には、特許文献5にて開示されているヘッドマウントディスプレイの構

成を示している。イメージインテンシファイア等の原画像を表示する物体源 201 の凸面状表示面 202 から射出された画像光は、光学素子 204 にその透過領域 205 から入射し、同光学素子 204 の反射膜形成部 208 で反射又は透過部 207 で内部反射して、反射膜が形成された凹面鏡部 203 で反射し、透過部 7 より射出する。光学素子 204 を射出した光はメニスカスレンズ 10 を通って観察者の両眼 E1, E2 に導かれる。

【0010】

さらに、この单一原画双眼観察型のヘッドマウントディスプレイに、上述した偏心自由曲面を持つプリズムを組み合わせたタイプのヘッドマウントディスプレイが近年、様々提案されている。例えば、下記特許文献 6～10 にその構成が提案されている。

【0011】

【特許文献 1】

特開平 7-333551 号公報

【特許文献 2】

特開平 8-50256 号公報

【特許文献 3】

特開平 8-160340 号公報

【特許文献 4】

特開平 8-179238 号公報

【特許文献 5】

米国特許第 4, 322, 135 号

【特許文献 6】

特開平 9-61748 号公報

【特許文献 7】

特開平 9-247579 号公報

【特許文献 8】

特開 2001-177785 号公報

【特許文献 9】

特開 2001-194618 号公報

【特許文献 10】

特開 2001-194619 号公報

【0012】

【発明が解決しようとしている課題】

しかしながら、前述の従来のヘッドマウントディスプレイにおいて、例えば特許文献 6 や特許文献 7 にて提案のものでは、左右眼用の光学系がそれぞれ異なるため、コストがかかつてしまう。

【0013】

また、その他の例においては、左右眼用の光学系は共用できる構成であるものの、いずれも画像表示素子から画像光の瞳に至る光を瞳側から逆トレースした場合の光が、最初の反射面で左右方向内側に反射される構成であるため、広画角化が難しかった。

【0014】

これを図 18 を用いて説明する。画像表示素子 311 から発せられた光は、小型の偏心プリズム 312L の入射面 313L に入射する。そして、プリズム 312L に形成された曲率を有した反射面 314L と反射面 315Lとの間で光束が折り畳まれ、その後、面 314L より偏心プリズム 312L から射出して観察者の左眼 EL に導かれる。

【0015】

同様に、画像表示素子 311 から発せられた光は、小型の偏心プリズム 312R の入射面 313R に入射する。そして、プリズム 3112R に形成された曲率を有した反射面 314R と反射面 315R との間で光束が折り畳まれ、その後、面 314R より偏心プリズム 312R から射出して観察者の左眼 ER に導かれる。

【0016】

これにより、画像表示素子（LCD）311 に表示された単一の原画像の虚像が観察者の左右の眼で観察される。

【0017】



このような虚像観察系において、光学設計時によく用いられる逆トレース光で以下の話を進める。観察者の眼側からの光線（瞳からの光線）は、面314L, 314Rからプリズム312L, 312Rに入射するが、この場合の最初の偏心反射面である反射面315L, 315Rによりそれぞれ、両眼のほぼ中央に配置された画像表示素子311の法線方向に近づく方向に折り曲げられる。したがって、このような光学系においては、EA1L, EA1Rで示す反射領域がプリズム312L, 312Rの面314L, 314Rに必要である。これらの反射領域EA1L, EA1Rは、画角を広げるにしたがって広がっていく。

【0018】

しかしながら、観察者の左右の眼EL, ERの間の距離（眼幅）はある程度決まっているので、左右眼用の光学系の瞳間の距離IPDを極端に広げることは不可能である。したがって、このように、逆トレース光で最初の反射面が光を左右方向内側に曲げる構成になっていると、大幅な広画角化は望めない。

【0019】

本発明は、単一の画像表示素子に表示された原画像を左右の眼に導く光学系でありながら、コストを抑えつつ、コンパクトかつ広画角化に適した画像表示装置を提供することを目的としている。

【0020】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本願第1の発明の画像表示装置は、原画像を表示する単一の画像表示素子と、画像表示素子からの光を瞳の近傍に配置される観察者の左右の眼に導く左眼用光学系および右眼用光学系とを有し、画像表示素子から瞳に進む光を瞳側から逆トレースしたとき、左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、瞳からの逆トレース光を左右方向外側に反射する第1の反射面と、第1の面で反射した逆トレース光をさらに左右方向外側に反射する第2の反射面とを有している。

【0021】

これにより、左右眼用光学系の射出瞳間距離を一般的な観察者の眼間距離程度に保持しつつ、広画角化を図ることが可能である。

【0022】

また、本願第2の発明の画像表示装置は、原画像を表示する单一の画像表示素子と、画像表示素子からの光を観察者の左右の眼に導く左眼用光学系および右眼用光学系とを有し、左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、画像表示素子からの光を反射する第1の面と、第1の面で反射した光を再度、第1の面で反射させるように反射して戻す第2の反射面とを有する。

【0023】

このように左右眼用の光学系内でいわゆる往復光路を形成することにより、光学系を小型化し、コンパクトな画像表示装置を提供することが可能となる。

【0024】

そして、上記各発明において、左眼用光学系および右眼用光学系を、画像表示素子の中心を通る垂直面に対して左右で鏡面対称となるように構成したり、水平面に対して上下で面对称となるように構成したりすることにより、左右の光学系の部品を共通化して低コスト化を図ることが可能となる。

【0025】

上記発明において、第1および第2の反射面を含む複数の反射面のうち少なくとも1つの反射面を偏心曲面とすることにより、光学要素の総数を削減することが可能であり、また少なくとも1つの反射面を回転非対称面とすることにより、諸収差を良好に補正でき、光学性能の向上を図ることが可能となる。

【0026】

さらに、左眼用光学系および右眼用光学系内において、原画像の中間実像が形成されるようにすることで、原画像（つまりは画像表示素子）画のサイズが小さくても広画角の画像を表示することが可能となる。

【0027】**【発明の実施の形態】****(第1実施形態)**

図1は、本発明の第1実施形態である画像表示装置としてのヘッドマウントディスプレイの要部構成図である。図中、1は原画像を表示するための单一の画像表示素子であり、CRT, LCD, エレクトロルミネッセンス素子等によって構

成されている。

【0028】

画像表示素子1には、不図示の駆動回路が接続されており、パソコン 컴퓨터、テレビ、ビデオ、DVDプレーヤ等の画像情報供給装置から画像情報の供給を受けた駆動回路は該画像情報に対応した原画像を表示させるよう画像表示素子1を駆動する。そして、この画像情報供給装置とヘッドマウントディスプレイにより画像表示システムが構成される。

【0029】

E Lは望ましい位置にある観察者の左眼（瞳孔位置）、E Rは望ましい位置にある観察者の右眼（瞳孔位置）である。

【0030】

2は左眼用光学系である。この左眼用光学系2は、面S L1から面S L5までの5つの反射面を有し、画像表示素子1の表示面S Iからの光を左眼E Lに導くように配置されている。

【0031】

3は右眼用光学系である。この右眼用光学系3は、面S R1から面S R5までの5つの反射面を有し、画像表示素子1の表示面S Iからの光を右眼E Rに導くように配置されている。

【0032】

本実施形態の左眼用光学系2と右眼用光学系3とは、画像表示素子1の表示面S Iの中心を通る法線（図中に一点鎖線で示す）を含み図の紙面に垂直な平面（垂直面）に対して左右方向にて鏡面対称となるように配置されている。

【0033】

図2は、本実施形態における水平面（図の紙面）での最大画角主光線を示した図、図3は本実施形態における中心画角に対する有効瞳径を形成するマージナル光線を示した図である。

【0034】

図2において、画像表示素子1の表示面S Iの有効表示領域の左右両端から射出した光線（図中に点線で示す）は、それぞれ観察者の望ましき瞳孔位置である

EL, ERに集まり、左眼用光学系2および右眼用光学系3の射出瞳を形成する。

【0035】

また、図3において、画像表示素子1の表示面SIの中心から射出した光線群（図中に実線及び点線で示す）は、左眼用光学系2および右眼用光学系3により略平行光に変換されて、略無限遠もしくは所定の距離にある画素からの光として観察者に認識される。

【0036】

以下、図1から図3を用いて本実施形態における光学作用について説明する。なお、各図で実線で示した光線は、画像表示素子1の表示面SI（原画像）の中心から射出し、左眼用および右眼用光学系2, 3のそれぞれの瞳の中心に到る中心画角主光線を示している。

【0037】

画像表示素子1の表示面SIの中心から射出して左眼用光学系2に向かった光は、面SL5で反射され、面SL4で反射され、面SL2に導かれる。面SL2で反射された光は面SL3で面SL2に戻るように反射される。面SL2で再度反射された光は、面SL1で反射されて観察者の左眼ELに導かれる。

【0038】

同様に、画像表示素子1の表示面SI中心から射出して右眼用光学系3に向かった光は、面SR5で反射され、面SR4で反射され、面SR2に導かれる。面SR2で反射された光は面SR3で面SR2に戻るように反射される。面SR2で再度反射された光は、面SR1で反射されて観察者の右眼ERに導かれる。

【0039】

この際、左眼用光学系2においては、面SL4で反射された光が図中に一点鎖線で示す両光学系2, 3の中心軸（画像表示素子1の表示面SIの中心を通る法線）に対して左方に遠ざかる方向に進んで面SL2（請求項8にいう「第1の反射面」）に入射し、さらに中心軸から左方に遠ざかる方向に反射され、面SL3（請求項8にいう「第2の反射面」）で面SL2に戻るように逆向き、すなわち中心軸に近づく方向に反射されて面SL2で再度反射され、中心軸に近づく方向

①

に向かう。

【0040】

このように、面SL2を2回反射する面として使用し、その2回の反射の間に逆向きに戻すような反射をさせる折返し反射面としての面SL3を設けることによって、SL2→SL3→SL2とたどる往復光路を形成する。これにより、光学系中で光路を重複させて光学系のサイズを小型化している。特に、面SL2での2回の反射における光の進行方向がそれぞれ左右方向で逆向きになるように折り返し反射面SL3で反射させることにより、光学系をコンパクトに構成している。

【0041】

また、面SL3で中心軸に近づく方向に反射され、面SL2でさらに中心軸に近づく方向に反射された光は面SL1で観察者の左眼ELの方向に反射される。すなわち、画像表示素子1から瞳に向かう光線を瞳側から逆トレースした場合に、面SL1（請求項1にいう「第1の反射面」）で逆トレース光を中心軸から遠ざかる方向（外側）に折り曲げ、さらに面SL2（請求項1にいう「第2の反射面」）で逆トレース光を中心軸からさらに遠ざかる方向（外側）に折り曲げている。このため、左眼ELに向かう光線と両光学系2，3の中心軸との間に配置する光学要素を少なくすることができ、その分を広画角化に利用することができるため、広画角化に適した光学配置を探ることができる。

【0042】

また、左眼用光学系2は、複数の偏心反射面を用いて光路を折り畳む構成としており、前述した往復光路形成の効果と併せて、小型の光学系内に長い光路長をとることができるのである。

【0043】

したがって、左眼用光学系2内で画像表示素子1の表示面SIに表示された原画像の中間像を一度形成し、その中間像を拡大して虚像提示する1回結像の構成を探ることが可能である。

【0044】

本実施形態では、例えば図3に示すように、面SL3から面SL2（再反射）

に到る間の中間結像面に中間像（実像）を結像し、面SL5, SL4, SL2, SL3までをリレー光学系、面SL2および面SL1を接眼光学系として用いることで、画像表示素子1の表示面SIのサイズに対して画角設定の自由度を高めることができ、広画角化を図ることができる。

【0045】

この際、リレー光学系並びに接眼光学系の光学要素削減のため、リレー光学系と接眼光学系とで発生する収差を互いに打ち消しあうように、中間像は適宜湾曲し、非点隔差を持つ構成としてもよい。このようにすることで、全系の光学性能を保ちつつ、光学要素の増加を抑えることができる。

【0046】

また、本実施形態では、左眼用光学系2を構成する偏心反射面SL1, SL2, SL3, SL4, SL5のうち少なくとも2つの偏心反射面を曲面として画像表示素子1の表示面SIに表示された原画像を拡大提示している。これらの偏心反射面のうち、曲面反射面を増やすと、結像ないし収差補正に寄与しない光学要素を削減することができるため、コスト削減および光学性能向上を図ることができる。

【0047】

さらに望ましくは、これらの偏心反射面を全て曲面とすることで、更なるコスト削減および光学性能向上を果たすことができる。

【0048】

また、面SL3は、前述した往復光路形成のために、中心画角主光線を概ね逆向きに戻すように反射する。ここで、面SL3は、図1に示すように、面SL2で反射された中心画角主光線が面SL3に入射し、面SL3で反射されて再度、面SL2に向かう際の面SL3への入射光線と射出光線とのなす角度θ（絶対値）が、

$$\theta < 45^\circ$$

となるように構成されていることが好ましい。

【0049】

この条件を超えると、面SL3を折返し反射面として機能させることが難しく



なり、往復光路の形成が困難になって、光学系サイズの極端な増加を招く。

【0050】

さらに望ましくは、

$$\theta < 30^\circ$$

を満たすことが好ましい。この条件を超えると、面SL3に折返し反射の機能を持たせることはできても、面SL2の有効面サイズが大きくなり、光学系全体をコンパクトに構成することが困難になる。

【0051】

また、偏心反射面を曲面とすると、従来の共軸回転対称光学系では発生しなかった回転非対称な収差、いわゆる偏心収差が発生する。したがって、これらの偏心反射面のうち少なくとも1面を回転非対称形状として、偏心収差を補正することが好ましい。回転非対称の面を増やせばそれだけ偏心収差補正の自由度が増すため、できれば複数の面を回転非対称面とするとよい。

【0052】

さらに望ましくは、全ての偏心反射曲面を回転非対称形状とすると、非常に良好な光学性能が達成できる。また、面SL3を回転非対称形状とすると、さらに偏心収差補正の自由度を高めることができるために、良好な光学性能を達成することができる。

【0053】

以上の左眼用光学系2の構成および光学作用に関する説明は、右眼用光学系3についても同様である。したがって、ヘッドマウントディスプレイ全体として、単一の画像表示素子1に表示された原画像を左右の眼に導く光学系でありながら、コストを抑えつつ、コンパクトかつ広画角化に適した構成を実現することができる。

【0054】

また、上記回転非対称面は、画像表示素子1の表示面SIの中心と左右眼用の光学系2, 3のそれぞれの射出瞳中心を通る水平面（図の紙面）に対して、上下（図の紙面に垂直な方向）に対称な面对称形状であることが望ましい。このように構成すると、基準の面ができるため、製造・組立等が容易になり、コスト低減

効果が得られる。また、このような面形状とすることで、左眼用光学系2と右眼用光学系3とは画像表示素子1の表示面SIの中心を通る法線（図中に一点鎖線で示す）に対して180°回転した位置に同一要素を配置した構成となり、左眼用光学系2と右眼用光学系3とを同一要素によって実現できるため、製造コスト低減の効果が得られる。

【0055】

（第2実施形態）

図4は、本発明の第2実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図である。

【0056】

図中、11は原画像を表示するための单一の画像表示素子である。ELは望ましい位置にある観察者の左眼（瞳孔位置）、ERは望ましい位置にある観察者の右眼（瞳孔位置）である。

【0057】

12は左眼用光学系である。この左眼用光学系12は、面SL1、半透過反射膜が形成された面SL2、および反射膜が形成された面SL3の3つの面を有するプリズム21と、透過面SL4、SL5を有するレンズ22などで構成されており、画像表示素子11の表示面SIからの光を左眼ELに導くように配置されている。

【0058】

13は右眼用光学系である。この右眼用光学系13は、面SR1、半透過反射膜が形成された面SR2および反射膜が形成された面SR3の3つの面を有するプリズム31と、透過面SR4、SR5を有するレンズ32などで構成されており、画像表示素子11の表示面SIからの光を右眼ERに導くように配置されている。

【0059】

本実施形態の左眼用光学系12と右眼用光学系13とは、画像表示素子11の表示面SIの中心を通る法線（図中に一点鎖線で示している）を含み、図の紙面に垂直な平面に対して左右で鏡面対称となるように構成されている。

【0060】

このように構成することで、左眼用光学系12と右眼用光学系13とを同一要素によって実現できるため、製造コスト低減の効果が得られる。

【0061】

図5は本実施形態における水平面（図の紙面）での最大画角主光線を示した図、図6は本実施形態における中心画角に対する有効瞳径を形成するマージナル光線を示した図である。

【0062】

図5において、画像表示素子11の表示面SIの有効表示領域の左右両端から射出した光はそれぞれ、観察者の望ましき瞳孔位置である左眼EL、右眼ERに集まり、左眼用光学系12および右眼用光学系13の射出瞳を形成している。

【0063】

また、図6において、画像表示素子11の表示面SIの中心から射出した光線群（図中に実線及び点線で示す）は、左眼用光学系12および右眼用光学系13により略平行光に変換されて、略無限遠もしくは射出瞳位置から表示面SIまでの距離に比して遠い所定距離にある画素からの光として観察者に認識される。

【0064】

以下、図4から図6を用いて本実施形態における光学作用について説明する。なお、これらの図で実線で示した光線は、画像表示素子11の表示面SIの中心から射出し、左右眼用の光学系12、13のそれぞれの瞳中心に到る中心画角主光線を示している。

【0065】

画像表示素子11の表示面SIの中心から射出して左眼用光学系12に向かった光は、レンズ22の面SL5および面SL4で屈折・透過し、プリズム21の面SL2に導かれる。面SL2で屈折・透過してプリズム21に入射した光は面SL1で反射され、面SL3で面SL1に戻るように反射される。

【0066】

面SL1で再度反射された光は、面SL2で反射された後、再度、面SL1に向かう。面SL1に向かった光は、今度は面SL1を透過して観察者の左眼EL



に導かれる。

【0067】

同様に、画像表示素子11の表示面SIの中心を射出して右眼用光学系13に向かった光は、レンズ32の面SR5および面SR4で屈折・透過し、プリズム31の面SR2に導かれる。面SR2で屈折・透過してプリズム31に入射した光は面SR1で反射され、面SR3で面SR1に戻るように反射される。

【0068】

面SR1で再度反射された光束は、面SR2で反射された後、再度面SR1に向かう。面SR1に向かった光は、今度は面SR1を透過して観察者の右眼ERに導かれる。

【0069】

この際、面SL1およびSR1での反射および再反射は、これらの面SL1, SR1に形成された半透過反射膜（ハーフミラー）による反射としてもよいし、プリズム31での内部全反射を利用するようにしてもよい。内部全反射を用いるようにすると、光の利用効率が高くなるため、明るい画像を表示することができ、好ましい。

【0070】

また、面SL1, SR1での透過の際に有効光束が通る領域には反射膜を設けずに内部全反射を利用し、それ以外の部位には反射膜を設けて反射させると、全ての反射光束に対して内部全反射を用いる場合に比べて、さほど明るさを損なうことなく光学設計の自由度を上げることができ、光学性能の向上および光学系の小型化を図ることが可能となる。

【0071】

このように面の一部に反射膜を形成し、反射膜による反射領域と内部全反射による領域とを共存させる際は、その境目付近を内部全反射領域側から反射膜反射領域側に向かう方向（ここでは一点鎖線で示した中心軸線から遠ざかる方向）にいくにしたがって徐々に膜厚を増すようなグラデーション反射膜とすると、その境界部が目立たなくなるため、好ましい。

【0072】



本実施形態においては、このように面S L 1, S R 1を2回の偏心反射作用と透過作用とを有する面として兼用しており、必要な光学要素数を削減している。また、面S L 2, S R 2も透過と偏心反射との作用を兼用させており、さらに光学要素数の削減効果を得ている。

【0073】

また、左眼用光学系12において、面S L 2からプリズム21に入射した光は、図中に一点鎖線で示した左右眼用の光学系12, 13の中心軸に対して遠ざかる方向（左方）に進んで面S L 1（請求項8にいう「第1の反射面」）に入射し、さらに中心軸から遠ざかる方向に反射されて面S L 3（請求項8にいう「第2の反射面」）に入射する。そして、面S L 3で面S L 1に戻るよう逆向き、すなわち中心軸に近づく方向に反射され、面S L 1で再度反射されて中心軸に近づく方向に向かう。

【0074】

このように、面S L 1を2回反射する面として使用し、その2回の反射の間に光を逆向きに戻すような反射をさせる折返し反射面としての面S L 3を設けることによって、S L 1→S L 3→S L 1とたどる往復光路を形成する。これにより、光学系中で光路を重複させて光学系のサイズを小型化している。特に、面S L 1での2回の反射における光の進行方向がそれぞれ左右方向で逆向きになるよう折り返し反射面S L 3で反射させることにより、光学系をコンパクトに構成している。

【0075】

さらに本実施形態においては、プリズム21に光を入射させる面であり、且つプリズム21内での最終の反射凹面鏡である面S L 2も加え、S L 2→S L 1→S L 3→S L 1→S L 2とたどる往復光路を形成して光路を重複させることで、さらに光の重複度を高めて、光路長に対して光学系サイズを非常に小型化している。

【0076】

また、本実施形態では、面S L 1で中心軸に近づく方向に反射された光を面S L 2で観察者の左眼E Lの方向に向けている。すなわち、画像表示素子11から

瞳に向かう光線を瞳側から逆トレースした場合に、面SL2（請求項1にいう「第1の反射面」）で逆トレース光を中心軸から遠ざかる方向（外側）に折り曲げ、さらに面SL1（請求項1にいう「第2の反射面」）で逆トレース光を中心軸からさらに遠ざかる方向（外側）に折り曲げている。このため、画角に比して左眼ELに向かう光線と上記中心軸との間で光学的に利用する領域が少なく、その分を広画角化に利用することが可能となるため、広画角化を図るのが容易な光学配置を探ることができる。

【0077】

また、本実施形態では、複数の偏心反射面SL1, SL2を用いて光路を折り畳む構成として薄型化を達成しており、前述した往復光路形成の効果と併せて、小型且つ薄型の光学系内に長い光路長をとることができる。このため、左眼用光学系12内において、画像表示素子11の表示面SIに表示された原画像の中間像を一度形成し、その中間像を拡大して虚像提示する1回結像の構成をとりつつ光学系をコンパクトに構成することができる。

【0078】

本実施形態では、例えば図6に示すように、面SL3から面SL1（再反射）に到る間の中間結像位置に中間像（実像）を結像し、面SL5, SL4, SL2, SL1, SL3までをリレー光学系、面SL1, SL2, SL1を接眼光学系として用いることで、画像表示素子11の表示面SIのサイズに対して画角設定の自由度を高めることができ、広画角化を図ることができる。

【0079】

この際、リレー光学系並びに接眼光学系の光学要素の削減のため、リレー光学系と接眼光学系とで発生する収差を互いに打ち消しあうように、中間像は適宜湾曲し、非点隔差を持つ構成としてもよい。こうすることで、全系の光学性能を保ちつつ、光学要素の増加を抑えることができる。

【0080】

また、本実施形態の構成においては、左眼用光学系12を構成する偏心反射面としての面SL1, SL2の2つの反射面のうち少なくとも一方の偏心反射面を曲面として画像表示素子11の表示面SIに表示された原画像を拡大提示するよ

うにしている。これらの偏心反射面のうち、曲面反射面を増やすと、結像および収差補正に寄与しない光学要素を削減することができるため、コスト削減および光学性能向上を図ることができる。すなわち、これら 2 つの偏心反射面をともに曲面とすることで、コスト削減および光学性能の向上を果たすことができる。

【0081】

また、面 S L 3 は、前述した往復光路形成のために、中心画角主光線を略垂直に反射するような角度で配置されているため、必ずしも中心画角主光線に対して偏心している必要はない。

【0082】

ここで、面 S L 3 は、図 4 に示すように、面 S L 1 で反射された中心画角主光線が面 S L 3 に入射し、面 S L 3 で反射されて再度、面 S L 1 に向かう際の面 S L 3 への入射光線と射出光線とのなす角度 θ （絶対値）が、

$$\theta < 45^\circ$$

となるように構成されていることが好ましい。

【0083】

この条件を超えると、面 S L 3 を折り返し反射面として機能させることが難しくなり、往復光路の形成が困難になって、本実施形態の光学系構成の破綻を招く。

【0084】

さらに望ましくは

$$\theta < 30^\circ$$

を満たすことが好ましい。

【0085】

この条件を超えると、面 S L 3 に折り返し反射の機能を持たせることはできても、面 S L 1 の有効面サイズが大きくなり、光学系全体をコンパクトに構成することが困難になる。

【0086】

したがって、面 S L 3 は中心画角主光線に対して全く偏心していない（上述の $\theta = 0^\circ$ ）か、または上述の θ の条件の範囲内に入る偏心反射面であることが望

ましい。前述した偏心反射面と同様に、折返し反射面である面S L 3を曲面で構成すると、結像および収差補正に寄与しない光学要素を削減することができるため、コスト削減および光学性能の向上を図ることができる。

【0087】

また、偏心反射面を曲面とすると、従来の共軸回転対称光学系では発生しなかった回転非対称な収差、いわゆる偏心収差が発生する。したがって、これらの偏心反射面のうち少なくとも1面を回転非対称形状として、偏心収差を補正することができる好ましい。

【0088】

回転非対称の面を増やせばそれだけ偏心収差補正の自由度が増すため、できれば複数の面を回転非対称面とするとよい。さらに望ましくは、全ての偏心反射曲面を回転非対称形状とすると、非常に良好な光学性能が達成できる。また、面S L 3を回転非対称形状とすると、さらに偏心収差補正の自由度が高めることができるために、良好な光学性能を実現できる。

【0089】

以上の左眼用光学系12の構成および光学作用に関する説明は、右眼用光学系13についても同様である。したがって、ヘッドマウントディスプレイ全体として、単一の画像表示素子11に表示された原画像を左右の眼に導く光学系でありながら、コストを抑えつつ、コンパクトかつ広画角化に適した構成を実現することができる。

【0090】

また、上記回転非対称面は、画像表示素子11の表示面S Iの中心と左右眼用の光学系12、13のそれぞれの射出瞳中心を通る水平面（図の紙面）に対して、上下（図の紙面に垂直な方向）に対称な面対称形状であることが望ましい。このように構成すると、基準の面ができるため、製造・組立等が容易になり、コスト低減効果が得られる。特に、該水平面を唯一の対称面とすると、製造・組立等の基準の面を残したまま、光学設計の自由度が増し、良好な光学性能を得ることができる。また、このような面形状とすることで、左眼用光学系2と右眼用光学系3とは画像表示素子1の表示面S Iの中心を通る法線（図中に一点鎖線で示す

) に対して 180° 回転した位置に同一要素を配置した構成となり、左眼用光学系 2 と右眼用光学系 3 とを共通部品化できるため、製造コスト低減の効果が得られる。

【0091】

(第3実施形態)

図 7 は、本発明の第3実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図である。図中、41 は原画像を表示するための单一の画像表示素子である。EL は望ましい位置にある観察者の左眼（瞳孔位置）、ER は望ましい位置にある観察者の右眼（瞳孔位置）である。

【0092】

42 は左眼用光学系である。この左眼用光学系 42 は、少なくとも一部に反射膜が形成された面 SL1、半透過反射膜が形成された面 SL2 および反射膜が形成された面 SL3 の 3 つの面を有するプリズム 53 と、プリズム 53 との接合面 SL2、反射膜が形成された面 SL4 および透過面としての面 SL5 を有するプリズム 54 とで構成されており、画像表示素子 41 の表示面 SI からの光を左眼 EL に導くように配置されている。

【0093】

43 は右眼用光学系である。この右眼用光学系 43 は、少なくとも一部に反射膜が形成された面 SR1、半透過反射膜が形成された面 SR2、反射膜が形成された面 SR3 の 3 つの面を有するプリズム 63 と、プリズム 63 との接合面 SR2、反射膜が形成された面 SR4 および透過面としての面 SR5 を有するプリズム 64 とで構成されており、画像表示素子 41 の表示面 SI からの光を右眼 ER に導くように配置されている。

【0094】

本実施形態の左眼用光学系 42 と右眼用光学系 43 は、画像表示素子 41 の表示面 SI の中心を通る法線（図中に一点鎖線で示している）を含み、図の紙面に垂直な平面に対して左右で鏡面対称となるように構成されている。

【0095】

なお、詳しくは後述するが、本実施形態において望ましい形態は、左眼用光学

系42と右眼用光学系43とを構成する各光学面を、図の紙面（水平面）に対して上下で対称形状とするものである。したがって、左眼用光学系42と右眼用光学系43とは、画像表示素子41の表示面SIの中心を通る法線（図中に一点鎖線で示す）に対して 180° 回転した位置に同一要素を配置した構成となっている。このように構成することで、左眼用光学系42と右眼用光学系43とを同一要素によって実現できるため、製造コスト低減の効果が得られる。

【009.6】

図8は本実施形態における水平面（図の紙面）での最大画角主光線を示した図、図9は本実施形態における中心画角に対する有効瞳径を形成するマージナル光線を示した図である。

【009.7】

図8において、画像表示素子41の表示面SIの有効表示領域の左右両端から射出した光線は、それぞれ観察者の望ましき瞳孔位置である左眼EL、右眼ERに集まり、左眼用光学系42および右眼用光学系43の射出瞳を形成している。

【009.8】

また、図9において、画像表示素子41の表示面SIの中心から射出した光線は、左眼用光学系42および右眼用光学系43により略平行光に変換されて、無限遠もしくは射出瞳位置から表示面SIまでの距離に比して遠い所定距離にある画素からの光として観察者に認識される。

【009.9】

以下、図7～図9を用いて本実施形態における光学作用について説明する。なお、これらの図において実線で示した光線は、画像表示素子41の表示面SIの中心から射出し、左右眼用の光学系42、43のそれぞれの瞳中心に到る中心画角主光線を示している。

【010.0】

画像表示素子41の表示面SIの中心から射出して左眼用光学系42に向かつた光は、面SL5で屈折・透過してプリズム54に入射し、面SL4で反射され、面SL2に導かれる。面SL2はプリズム54とプリズム53との接合面であり、少なくとも一方に半透過反射膜が形成され接合されたハーフミラー面である

。

【0101】

面SL2に導かれた光の一部は、面SL2を透過してプリズム53に入射する。プリズム53に入射した光は面SL1で反射され、面SL3で反射されて再度、面SL1に向かい、面SL1で面SL3に戻るように反射される。面SL3で再度反射された光は、面SL1で最初に反射された領域側に向かい、面SL1でさらに反射される。

【0102】

面SL1で反射された光束の一部は、ハーフミラー面である面SL2で反射された後、面SL1に向かい、今度は面SL1を透過して観察者の左眼ELに導かれる。

【0103】

同様に、画像表示素子41の表示面SIの中心から射出して右眼用光学系43に向かった光は、面SR5で屈折・透過してプリズム64に入射し、面SR4で反射され、面SR2に導かれる。面SR2はプリズム64とプリズム63との接合面であり、少なくとも一方に半透過反射膜が形成されて接合されたハーフミラ一面である。

【0104】

面SR2に導かれた光の一部は、面SR2を透過してプリズム63に入射する。プリズム63に入射した光は面SR1で反射され、面SR3で反射されて再度、面SR1に向かい、面SR1で面SR3に戻るように反射される。面SR3で再度反射された光は、面SR1で最初に反射された領域側に向かい、面SR1でさらに反射される。面SR1で反射された光束の一部は、ハーフミラー面であるSR2で反射された後、面SR1に向かい、今度は面SR1を透過して観察者の右眼ERに導かれる。

【0105】

この際、面SL1および面SR1での最初の反射および3回目の反射は、これらの面SL1, SR1に半透過反射膜を形成したハーフミラーでの反射としてもよいし、プリズム53, 63での内部全反射を利用するようにしてもよい。内部

○

全反射を用いるようにすると、光の利用効率が高くなるため、明るい画像を表示することができる。

【0106】

また、面SL1, SR1での透過の際に有効光束が通る領域には反射膜を設けず、内部全反射を用い、それ以外の部位に反射膜を設けて反射させるようになると、全ての反射光束に対し内部全反射を用いる場合に比べて、さほど明るさを損なうことなく光学設計の自由度を上げることができる。このため、光学性能の向上および光学系の小型化を図ることが可能となる。

【0107】

また、面SL1, SR1での2回目の反射は、偏心反射面として作用する面SL1での初回の反射光を偏心反射面である面SL3を介して受け、再度、面SL3を介して初回反射と光の進行方向が左右方向逆向きに面SL1で3回目の反射が行われるように戻すように反射する折り返し反射である。したがって、面SL1, SR1での2回目の反射光束の有効領域には、反射膜を形成することが必要である。

【0108】

このように一部に反射膜を形成して反射膜による反射領域と、内部全反射領域若しくは半透過反射領域とを共存させる際には、その境目付近を内部全反射若しくは半透過反射領域側から反射膜での反射領域側に向かう方向（ここでは一点鎖線で示した中心軸線から遠ざかる方向）にいくにしたがって徐々に膜厚を増すようなグラデーション反射膜とすると、その境界部が目立たなくなるため、好ましい。

【0109】

本実施形態においては、このように面SL1, SR1に2回の偏心反射と折り返し反射と透過の作用を兼用させており、必要な光学要素数を削減している。また、面SL2, SR2も透過と偏心反射との作用を兼用させており、さらに光学要素数削減効果を得ている。

【0110】

また、左眼用光学系42において、面SL2からプリズム53に入射した光が

図の一点鎖線で示された中心軸に対して遠ざかる方向（左方）に進んで面 S L 1（請求項 8 にいう「第 1 の反射面」）に入射し、面 S L 1 でさらに中心軸から遠ざかる方向に反射され、面 S L 3 で偏向されて面 S L 1 に略垂直に入射する方向に向かう。面 S L 1 では、その光を逆方向に反射し（このときの反射における面 S L 1 が請求項 8 にいう「第 2 の反射面」に相当する）、面 S L 3 に戻す。面 S L 3 では中心軸に近づく方向に反射され、面 S L 1 でさらに中心軸に近づく方向に反射される。

【0111】

このように、S L 1 → S L 3 → S L 1 → S L 3 → S L 1 とたどる往復光路を形成することで、光学系中で光路を重複させて光学系のサイズを小型化している。

【0112】

さらに本実施形態においては、プリズム 5 3 に光を入射させる面であり、且つプリズム 5 3 内での最終反射凹面鏡となる面 S L 2 も加え、S L 2 → S L 1 → S L 3 → S L 1 → S L 3 → S L 1 → S L 2 とたどる往復光路を形成して光路を重複させることで、さらに光の重複度を高めて、光路長に対して光学系サイズを非常に小型化している。

【0113】

また、本実施形態では、面 S L 1 で中心軸に近づく方向に反射された光を面 S L 2 で観察者の左眼 E L の方向に向いている。すなわち、画像表示素子 4 1 から瞳に向かう光線を瞳側から逆トレースした場合に、面 S L 2（請求項 1 にいう「第 1 の反射面」）で逆トレース光を中心軸から遠ざかる方向（外側）に折り曲げ、さらに面 S L 1（請求項 1 にいう「第 2 の反射面」）で逆トレース光を中心軸からさらに遠ざかる方向（外側）に折り曲げている。

【0114】

このため、画角に比して、左眼 E L に向かう光線と上記中心軸との間で光学的に利用する領域が少なく、その分を広画角化に利用することが可能となるため、広画角化を図るのが容易な光学配置となっている。

【0115】

また、本実施形態では、複数の偏心反射面としての面 S L 1, S L 2, S L 3

を用いて光路を折り畳む構成として薄型化を達成しており、前述した往復光路形成の効果と併せて、小型且つ薄型の光学系内に長い光路長をとることができる。このため、左眼用光学系 42 内において、画像表示素子 41 の表示面 S I に表示された原画像の中間像を一度形成し、その中間像を拡大して虚像提示する 1 回結像の構成をとりつつ光学系をコンパクトに構成することが可能である。

【0116】

本実施形態では、例えば図 9 に示すように、面 S L 3 から面 S L 1 (折り返し反射) に到る間の中間結像位置に中間像 (実像) を結像し、面 S L 5, S L 4, S L 2, S L 1, S L 3, S L 1 までをリレー光学系、面 S L 3, S L 1, S L 2, S L 1 を接眼光学系として用いることで、画像表示素子 41 の表示面 S I のサイズに対して画角設定の自由度を高めることができ、広画角化を図ることができる。

【0117】

この際、リレー光学系並びに接眼光学系の光学要素の削減のため、リレー光学系と接眼光学系とで発生する収差を互いに打ち消しあうように、中間像は適宜湾曲し、非点隔差を持つ構成としてもよい。こうすることで、全系の光学性能を保ちつつ、光学要素の増加を抑えることができる。

【0118】

また、本実施形態の構成においては、左眼用光学系 42 を構成する偏心反射面としての面 S L 1, S L 2, S L 3 の 3 つの反射面のうち少なくとも一つの偏心反射面を曲面として、画像表示素子 41 の表示面 S I に表示された原画像を拡大提示するようにしている。

【0119】

これらの偏心反射面のうち、曲面反射面を増やすと、結像および収差補正に寄与しない光学要素を削減することができるため、コスト削減および光学性能の向上を図ることができる。すなわち、これら 2 つの偏心反射面をともに曲面とすることで、コスト削減および光学性能の向上を果たすことができる。

【0120】

また、面 S L 1 は、前述した往復光路形成のために、中心画角主光線を略垂直

に反射するような角度で配置されているため、必ずしも中心画角主光線に対して偏心している必要はない。

【0121】

ここで、面SL1は、図7に示すように、面SL1で反射された中心画角主光線がSL3を介して入射し、面SL3を介して再度、面SL1に向かうように反射する際（2回目反射の際）の面SL1への入射光線と射出光線とのなす角度 θ （絶対値）が、

$$\theta < 45^\circ$$

となるように構成されていることが好ましい。

【0122】

この条件を超えると、面SL1を折返し反射面として機能させることが難しくなり、往復光路の形成が困難になって、本実施形態での光学系構成の破綻を招く。

【0123】

さらに望ましくは

$$\theta < 30^\circ$$

を満たすことが好ましい。

【0124】

この条件を超えると、面SL1に折返し反射の機能を負わせることはできても、面SL3ないし面SL1の有効面サイズが大きくなり、光学系全体をコンパクトに構成することが困難になる。

【0125】

したがって、2回目の反射に際しての面SL1は、中心画角主光線に対して全く偏心していない（上述の $\theta = 0^\circ$ ）か、または上述の θ の条件の範囲内に入る偏心反射面であることが望ましい。

【0126】

また、偏心反射面を曲面とすると、従来の共軸回転対称光学系では発生しなかった回転非対称な収差、いわゆる偏心収差が発生する。したがって、これらの偏心反射面のうち少なくとも1面を回転非対称形状として、偏心収差を補正するこ

◎

とが好ましい。回転非対称の面を増やせば、それだけ偏心収差補正の自由度が増すため、できれば複数の面を回転非対称面とするとよい。

【0127】

さらに望ましくは、全ての偏心反射曲面を回転非対称形状とすると、非常に良好な光学性能が達成できる。

【0128】

以上の左眼用光学系42の構成および光学作用に関する説明は、右眼用光学系43についても同様である。したがって、ヘッドマウントディスプレイ全体として、単一の画像表示素子41に表示された原画像を左右の眼に導く光学系でありながら、コストを抑えつつ、コンパクトかつ広画角化に適した構成を実現することができる。

【0129】

また、上記回転非対称面は、画像表示素子41の表示面SIの中心と左右眼用の光学系42、43のそれぞれの射出瞳中心を通る水平面（図の紙面）に対して、上下（図の紙面に垂直な方向）にて対称な面对称形状であることが望ましい。このように構成すると、基準の面ができるため、製造・組立等が容易になり、コスト低減効果が得られる。特に、該水平面を唯一の対称面とすると、製造・組立等の基準の面を残したまま、光学設計の自由度が増し、良好な光学性能を得ることができる。

【0130】

なお、本実施形態のように、画像表示素子41が光学系42、43に対して観察者側にやや迫り出す場合は、図14に2点鎖線で示した位置で、中心画角主光線を含む水平面（図の紙面）から外れる方向に光路を折り曲げてもよい。

【0131】

図15は、ミラーSL6を追加配置することで、図14の紙面に対して垂直に光路を折り曲げた場合の左眼用光学系の斜視図である。このようにミラーSL6で光路を折り曲げることにより、ヘッドマウントディスプレイを構成する場合に必要な観察者の鼻を避けるためのスペースができ易くなるため、バックフォーカスを無理に短く抑える必要がなくなり、光学性能を出し易くなる。

【0132】

以上説明した各実施形態において、反射膜とは、透過光が実質的に0となるような膜のことであり、一部の光が透過するものは半透過反射膜として区別した。但し、半透過反射膜といつても、透過率と反射率とがほぼ等しいものだけに限定するものではない。

【0133】

[数値実施例 1]

図10および図11は、本発明の数値実施例1を説明するための図である。数値実施例1は、上述した第3実施形態に従うものである。

【0134】

図10において、S Iは画像表示素子41の表示面であり、S L 1, S L 2, S L 3, S L 4, S L 5はそれぞれ、左眼用光学系42を構成する光学面、S L Sは左眼用光学系42の射出瞳である。

【0135】

また、S R 1, S R 2, S R 3, S R 4, S R 5はそれぞれ、右眼用光学系43を構成する光学面、S R Sは右眼用光学系43の射出瞳である。

【0136】

第3実施形態において好ましい構成として述べた通り、左眼用光学系42と右眼用光学系43との各面を紙面断面であるy z断面を唯一の対称面とする面对称形状としたために、左右光学系は同一構成であるので、以降は一方の光学系（左眼用光学系42）のみについて説明する。これは以降の数値実施例においても同様である。

【0137】

この際、瞳S L Sの中心を原点とし、視軸（瞳S L Sと面S L 1との間の中心画角主光線に一致する）方向にz軸にとり、図の紙面（中心画角主光線を含む平面）とz軸に垂直な方向にy軸をとり、右手系を形成するように図で紙面奥向きを正としてx軸をとった座標系を用いる。そして、この座標系における面配置は、表示面S Iから瞳S L Sに至る光線を逆トレースした順に面番号を付して表す。

【0138】

したがって、図11のように、瞳をS1とし、図10の面SL1を逆トレース光線の入射面S2、偏心反射面S4、折返し反射面S6、偏心反射面S8とし、面SL2を偏心反射面S3、透過面S9とし、面SL3を偏心反射面S5、S7とし、面SL4を反射面S10とし、面SL5を透過面S11として、表示面はそのままSIとして表記する。

【0139】

また、面配置はyz断面においてのみ偏心しており、したがってx軸周りの回転が生じている。これを図で半時計回り方向を正方向として、A（単位：°）で表す。

【0140】

光学データ表では、面番号SURFと各面を記述する位置および回転角を上述の通り、X, Y, Z, Aで表し、曲率半径をR、面定義のタイプをtyp、面の後の媒質の屈折率およびアッペ数をNd, vd（但し、表中ではvd^-1で表している。）

【0141】

なお、空気はNd=1, vd=0とし、面が光を反射する際はNdの符号が変化するように表している。面定義タイプがSPHのものは曲率半径Rの値のみで表される球面、SPSのものはその後に記載の番号に従い、表下欄に示した係数を持つ次式(1)で表される回転非対称面である。表で明示されない係数については、その項の係数が0であることを意味する。

【0142】**【数1】**

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{i=2}^{66} C_i x^m y^n \quad j = [(m+n)^2 + m + 3n]/2 + 1 \quad \dots \quad (1)$$

【0143】

但し、c = 1/R, r = \sqrt{x^2 + y^2}

以上の説明は、数値実施例2以降の数値実施例についても同様である。

【0144】

数値実施例1のデータを表1に示す。本データは、長さの単位をmmとすると
きに、対角約0.5" (10.2mm×7.6mm) の表示面に対して、水平(y方向)画
角30°, 垂直画角23°程度, 瞳径φ10mmの光学系を実現可能である。

【0145】

光学設計的には、無限遠方から瞳S1を通った光束を、面S2より第1のプリ
ズムに入射させ、面S3, S4, S5, S6, S7, S8と順次反射させて面S
9より第2のプリズムに入射させ、面S10で反射させ、面S11より射出させ
て表示面SIに結像させる構成になっている。

【0146】

したがって、表示面SIからの光束は上述と逆の経路をたどって瞳S1に導か
れ、瞳S1の位置に瞳孔を置いた観察者によって無限遠方に水平画角30°の拡
大虚像が認識される。

【0147】

【表 1】

[表 1]

SURF	X	Y	Z	A	R	typ	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	8	SPH	1.0000	0.0
2	0.000	-7.285	26.153	1.115	-305.2224	SPS1	1.5709	33.8
3	0.000	-6.526	36.298	-25.878	-96.8602	SPS2	-1.5709	33.8
4	0.000	-7.285	26.153	1.115	-305.2224	SPS1	1.5709	33.8
5	0.000	14.164	47.382	24.189	-99.7291	SPS3	-1.5709	33.8
6	0.000	-7.285	26.153	1.115	-305.2224	SPS1	1.5709	33.8
7	0.000	14.164	47.382	24.189	-99.7291	SPS3	-1.5709	33.8
8	0.000	-7.285	26.153	1.115	-305.2224	SPS1	1.5709	33.8
9	0.000	-6.526	36.298	-25.878	-96.8602	SPS2	1.5709	33.8
10	0.000	-5.956	48.165	0.485	-90.7507	SPS4	-1.5709	33.8
11	0.000	-16.855	31.486	28.440	8.4304	SPS5	-1.0000	0.0
I	0.000	-31.500	20.819	0.000	8	SPH	-1.0000	0.0

SPS1

k : 1.8613e+01 c 4:-6.6076e-03 c 6: 4.0901e-04 c 8:-1.5400e-04
 c10:-6.1349e-06 c11: 2.4803e-06 c13:-5.9119e-06 c15:-1.7999e-07

SPS2

k :-1.8861e+00 c 4:-1.3956e-03 c 6:-1.4504e-03 c 8:-1.2584e-04
 c10:-1.4678e-05 c11: 4.9186e-07 c13: 1.9753e-06 c15:9.2345e-07

SPS3

k : 2.8152e+00 c 4:-5.0991e-03 c 6: 1.2520e-03 c 8:-2.5645e-05
 c10: 2.0148e-05 c11: 9.0811e-07 c13:-5.5939e-06 c15:-2.8068e-07

SPS4

k :-3.2053e+01 c 4:-5.6389e-03 c 6: 1.5074e-04 c 8: 1.5579e-04
 c10: 1.0478e-04 c11: 1.6326e-05 c13: 3.3390e-06 c15:-2.8989e-06

SPS5

k :-8.5159e-01 c 4:-1.2880e-02 c 6:-7.9671e-03 c 8: 3.5790e-03
 c10: 2.8434e-03 c11: 2.9525e-05 c13: 5.4985e-05 c15:-3.2370e-05

【0148】

[数値実施例 2]

図12は、本発明の数値実施例2の光学系の要部構成を示した図である。この数値実施例2は、上記第2実施形態の変形例を表すものである。第1のプリズムP1は第2実施形態で説明したプリズム21, 31と同様の形態であり、レンズ22, 32の代わりに第2のプリズムP2を用いている。表2に数値実施例2の

光学データを示す。

【0149】

なお、表中の記号等は基本的に表1と同じである。但し、 $t\ y\ p$ の項がZRN
*で表されているものは、表下欄に示した係数を持つ次式(2)で表される回転
非対称面である。表で明示されない係数については、その項の係数が0であるこ
とを意味する。

【0150】

$$\begin{aligned}
 z = & (1/R)(x^2+y^2)/(1+(1-(1+k)(1/R)^2(x^2+y^2))^{(1/2)}) + c_2 + c_4y + c_5(x^2-y^2) \\
 & + c_6(-1+2x^2+2y^2) + c_{10}(-2y+3x^2y+3y^3) + c_{11}(3x^2y-y^3) \\
 & + c_{12}(x^4-6x^2y^2+y^4) + c_{13}(-3x^2+4x^4+3y^2-4y^4) \\
 & + c_{14}(1-6x^2+6x^4-6y^2+12x^2y^2+6y^4) \\
 & + c_{20}(3y-12x^2y+10x^4y-12y^3+20x^2y^3+10y^5) \\
 & + c_{21}(-12x^2y+15x^4y+4y^3+10x^2y^3-5y^5) \\
 & + c_{22}(5x^4y-10x^2y^3+y^5) + c_{23}(x^6-15x^4y^2+15x^2y^4-y^6) \\
 & + c_{24}(-5x^4+6x^6+30x^2y^2-30x^4y^2-5y^4-30x^2y^4+6y^6) \\
 & + c_{25}(6x^2-20x^4+15x^6-6y^2+15x^4y^2+20y^4-15x^2y^4-15y^6) \\
 & + c_{26}(-1+12x^2-30x^4+20x^6+12y^2-60x^2y^2+60x^4y^2-30y^4+60x^2y^4+20y^6) + \dots
 \end{aligned}$$

… (2)

本データにおいても、長さの単位をmmとするときに、対角約0.5°(10.2 mm × 7.6 mm)の表示面に対して、水平(y方向)画角30°、垂直画角23°程度、瞳径φ10 mmの光学系を実現可能である。

【0151】

光学設計的には、無限遠方から瞳S1を通った光束を、面S2より第1のプリズムP1に入射させ、面S3, S4, S5, S6と順次反射させて面S7より射出させる。この光束を面S8より第2のプリズムに入射させ、面S9で反射させ、面S10より射出させて、表示面SIに結像させる構成になっている。したがって、表示面SIからの光束は上述と逆の経路をたどって瞳S1に導かれ、瞳S1の位置に瞳孔を置いた観察者によって、無限遠方に水平画角30°の拡大虚像が認識される。

【0152】

【表2】

[表2]

SURF	X	Y	Z	A	R	typ	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	∞	SPH	1.0000	0.0
2	0.000	0.158	22.135	0.935	-969.1174	ZRN1	1.5709	33.8
3	0.000	-0.164	33.984	-24.920	-79.9320	ZRN2	-1.5709	33.8
4	0.000	0.158	22.135	0.935	-969.1174	ZRN1	1.5709	33.8
5	0.000	29.681	37.582	51.267	5285.1651	ZRN3	-1.5709	33.8
6	0.000	0.158	22.135	0.935	-969.1174	ZRN1	1.5709	33.8
7	0.000	-0.164	33.984	-24.920	-79.9320	ZRN2	1.0000	0.0
8	0.000	-1.539	38.661	-40.635	41.9482	ZRN4	1.5709	33.8
9	0.000	-9.331	49.816	-6.412	-92.7568	ZRN5	-1.5709	33.8
10	0.000	-20.353	34.311	35.754	94.4157	ZRN6	-1.0000	0.0
1	0.000	-31.500	22.640	0.000	∞	SPH	-1.0000	0.0

ZRN1

k : -5.7790e+02 c 5:-6.3390e-05 c 6: 3.0603e-05 c10: 7.6267e-07
 c11:-3.2089e-06 c12: 7.0919e-08 c13:-5.3606e-09 c14: 6.2601e-09

ZRN2

k : -1.2151e-01 c 5:-1.8673e-04 c 6:-6.9358e-05 c10: 2.2529e-06
 c11:-1.0524e-05 c12:-1.8408e-07 c13:-1.4494e-07 c14:-2.0724e-09

ZRN3

k : 2.8728e-08 c 5: 2.2643e-04 c 6: 4.7085e-05 c10: 1.0668e-05
 c11: 6.2695e-05 c12: 3.5662e-06 c13: 3.7011e-07 c14: 6.2614e-07

ZRN4

k : -9.1681e+00 c 5: 4.9406e-03 c 6: 3.3844e-03 c10:-1.4247e-04
 c11: 8.8604e-05 c12:-1.5353e-06 c13:-1.4664e-06 c14:-2.4981e-06

ZRN5

k : 6.7671e-01 c 5:-4.0700e-04 c 6:-2.9929e-04 c10: 4.1222e-06
 c11: 8.3064e-06 c12: 1.3159e-08 c13: 7.5899e-09 c14:-4.2980e-010

ZRN6

k : 4.2956e+01 c 5: 6.3112e-03 c 6: 3.5215e-03 c10: 1.3921e-04
 c11:-1.0260e-04 c12: 3.0216e-06 c13:-1.1530e-06 c14:-6.3036e-06

【0153】

[数値実施例3]

図13は、本発明の数値実施例3の光学系の要部構成を示した図である。この数値実施例3も、上記第2実施形態の変形例を表す数値実施例である。第1のプ

リズムP1は第2実施形態で説明したプリズム21, 31と同様の形態であり、レンズ22, 32の代わりに第2のプリズムP2を用いている。

【0154】

数値実施例2との違いは、第2のプリズムP2における反射回数が増加している点である。表3に数値実施例2の光学データを示す。

【0155】

なお、表中の記号等は基本的に表1と同じである。但し、 t_{yp} の項がZRN*で表されているものは、表下欄に示した係数を持つ前述の式(2)で表される回転非対称面である。表で明示されない係数については、その項の係数が0であることを意味する。

【0156】

本データにおいても、長さの単位をmmとするときに、対角約0.5" (10.2 mm×7.6mm) の表示面に対して、水平(y方向)画角30°, 垂直画角23°程度、瞳径φ10mmの光学系を実現可能である。光学設計的には、無限遠方から瞳S1を通った光束を、面S2より第1のプリズムP1に入射させ、面S3, S4, S5, S6と順次反射させて面S7より射出させる。この光束を面S8より第2のプリズムに入射させ、面S9, 面S10で反射させ、面S11より射出させて、表示面S1に結像させる構成になっている。

【0157】

したがって、表示面S1からの光束は上述と逆の経路をたどって瞳S1に導かれ、瞳S1の位置に瞳孔を置いた観察者によって、無限遠方に水平画角30°の拡大虚像が認識される。

【0158】

【表3】

[表3]

SURF	X	Y	Z	A	R	typ	Nd	vd
1	0.000	0.000	0.000	0.000	8	SPH	1.0000	0.0
2	0.000	-0.444	22.104	0.077	-875.0947	ZRN1	1.5709	33.8
3	0.000	-1.320	37.620	-26.008	-78.0960	ZRN2	-1.5709	33.8
4	0.000	-0.444	22.104	0.077	-875.0947	ZRN1	1.5709	33.8
5	0.000	26.725	34.349	50.908	1452.5933	ZRN3	-1.5709	33.8
6	0.000	-0.444	22.104	0.077	-875.0947	ZRN1	1.5709	33.8
7	0.000	-1.320	37.620	-26.008	-78.0960	ZRN2	1.0000	0.0
8	0.000	-3.386	42.254	-47.020	40.4687	ZRN4	1.5709	33.8
9	0.000	-12.160	51.441	-23.717	-234.2743	ZRN5	-1.5709	33.8
10	0.000	-18.790	32.621	-8.716	93.9123	ZRN6	1.5709	33.8
11	0.000	-12.160	51.441	-23.717	-234.2743	ZRN5	1.0000	0.0
I	0.000	-31.500	59.749	0.000	8	SPH	1.0000	0.0

ZRN1

k : 5.6705e+02 c 5:-4.0120e-05 c 6: 1.5454e-05 c10:-2.7041e-08
 c11:-7.6781e-06 c12: 2.3706e-07 c13:-3.0584e-09 c14:-6.4053e-09

ZRN2

k : 7.8049e-01 c 5:-6.9760e-04 c 6:-1.2034e-04 c10: 3.2462e-06
 c11:-4.7675e-06 c12: 7.2306e-09 c13:-5.9395e-08 c14:-2.4312e-08

ZRN3

k : -1.6665e-05 c 5: 1.5589e-03 c 6: 1.7149e-04 c10: 4.9476e-05
 c11:-8.8798e-05 c12: 6.7369e-07 c13: 3.0032e-06 c14: 3.2767e-07

ZRN4

k : -4.3323e+00 c 5: 7.2856e-04 c 6: 5.5245e-04 c10: 1.6248e-05
 c11: 8.7530e-06 c12: 1.8919e-06 c13:-3.0799e-07 c14:-1.4376e-06

ZRN5

k : 2.1189e+01 c 5: 7.3049e-06 c 6:-1.1164e-04 c10: 3.0150e-06
 c11: 3.0374e-06 c12: 7.8107e-08 c13: 7.4630e-08 c14:-2.8119e-08

ZRN6

k : -5.6498e+00 c 5: 2.6091e-04 c 6: 1.2751e-04 c10: 5.2129e-06
 c11:-1.3827e-06 c12:-9.0770e-08 c13: 1.9531e-07 c14:-9.4946e-08

【0159】

【発明の効果】

以上説明したように、本願第1の発明によれば、ヘッドマウントディスプレイ等の画像表示装置において、左右眼用光学系の射出瞳間距離を一般的な観察者の

眼間距離程度に保持しつつ、広画角化を図ることができる。

【0160】

また、本願第2の発明によれば、左右眼用の光学系内でいわゆる往復光路を形成するので、光学系を小型化し、コンパクトな画像表示装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図（中心画角主光線図）。

【図2】

上記第1実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図（最大画角主光線図）。

【図3】

上記第1実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図（マージナル光線図）。

【図4】

本発明の第2実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図（中心画角主光線図）。

【図5】

上記第2実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図（最大画角主光線図）。

【図6】

上記第2実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図（マージナル光線図）。

【図7】

本発明の第3実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図（中心画角主光線図）。

【図8】

上記第3実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図（最大画角

主光線図)。

【図 9】

上記第3実施形態であるヘッドマウントディスプレイの要部構成図(マージナル光線図)。

【図 10】

本発明の数値実施例1の要部構成図。

【図 11】

上記数値実施例1の要部構成図。

【図 12】

本発明の数値実施例2の要部構成図。

【図 13】

本発明の数値実施例3の要部構成図。

【図 14】

上記第3実施形態の変形例を示す平面図。

【図 15】

上記第3実施形態の変形例を示す斜視図。

【図 16】

従来のヘッドマウントディスプレイの要部構成図。

【図 17】

従来のヘッドマウントディスプレイの要部構成図。

【図 18】

従来のヘッドマウントディスプレイの要部構成図。

【符号の説明】

1, 11, 41 画像表示素子

2, 12, 42 左眼用光学系

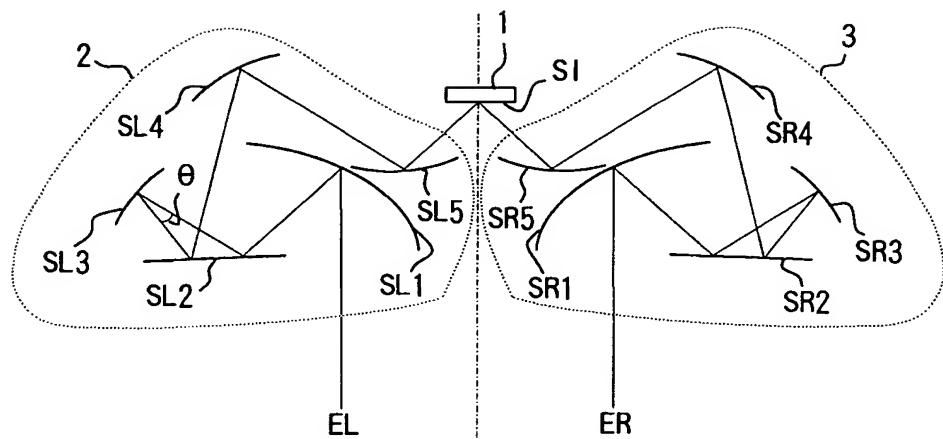
3, 13, 43 右眼用光学系

E L 観察者の左眼

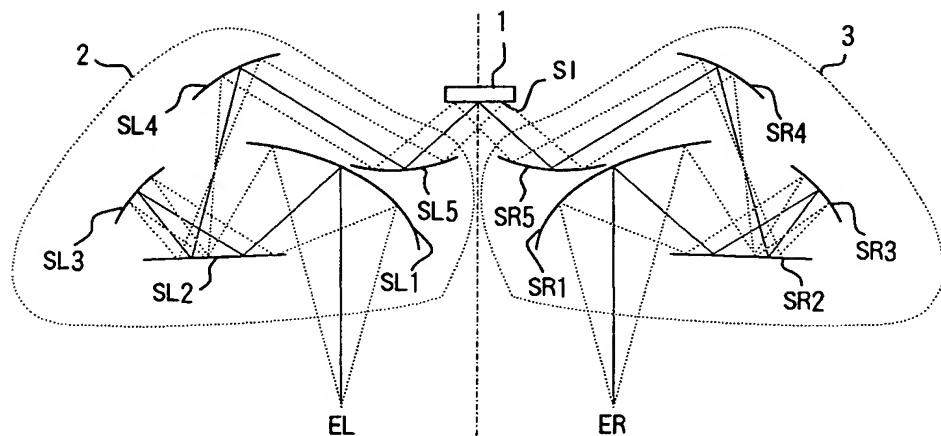
E R 観察者の右眼

【書類名】 図面

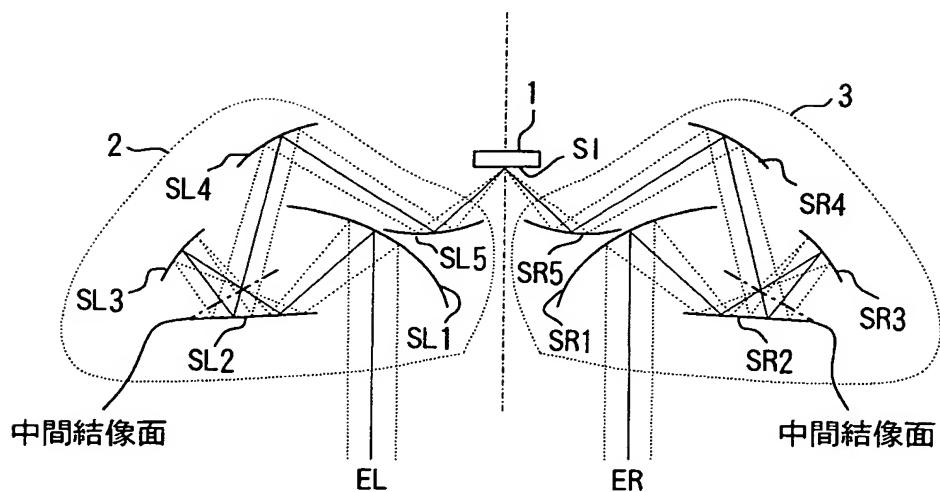
【図 1】



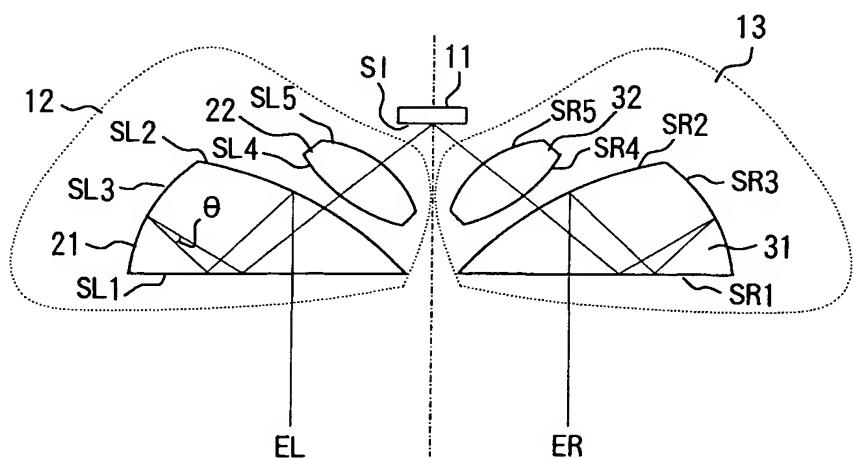
【図 2】



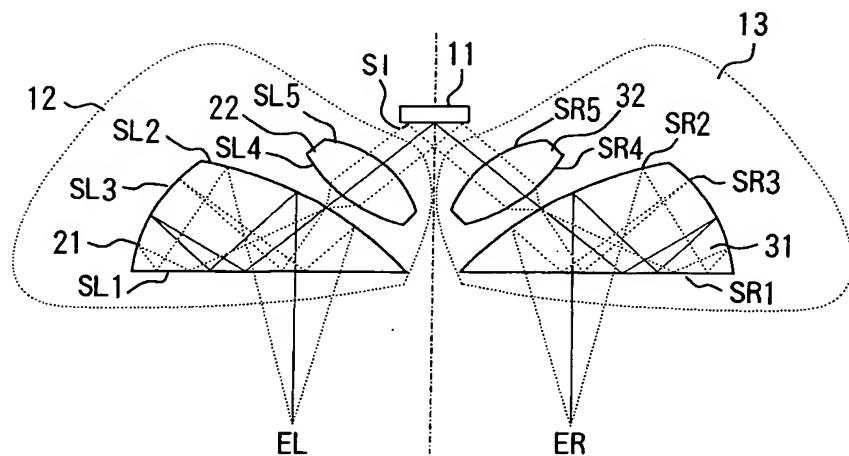
【図3】



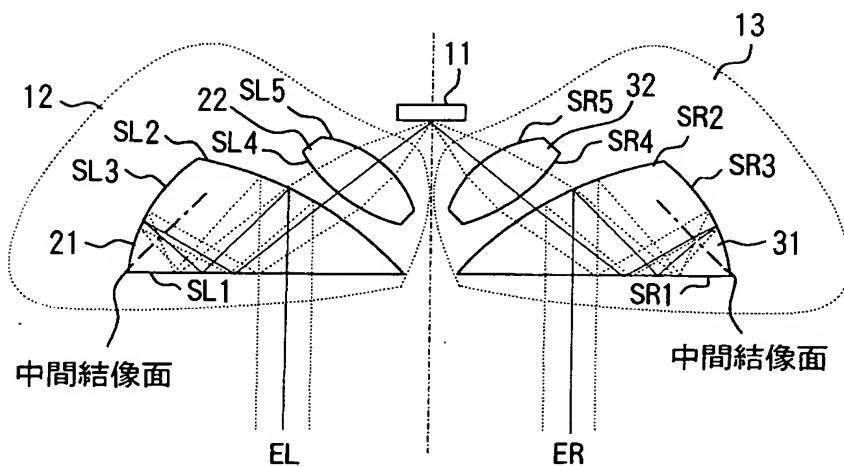
【図4】



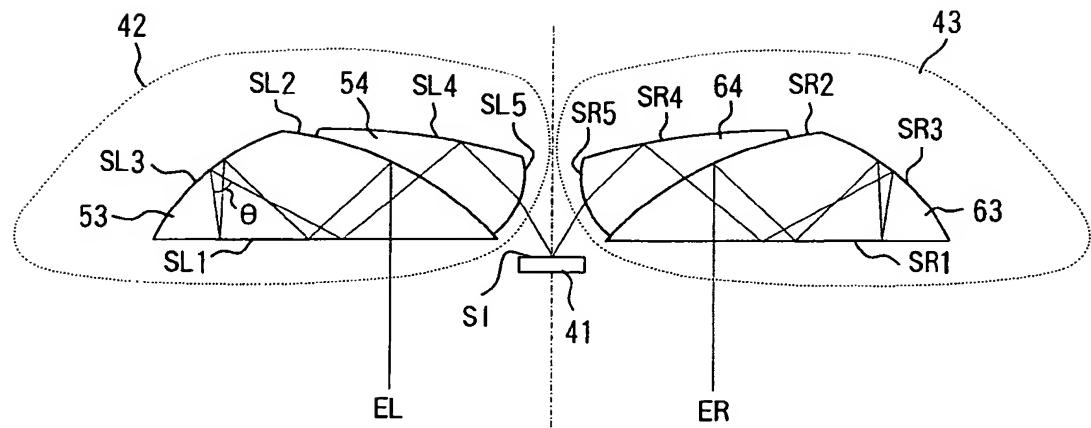
【図5】



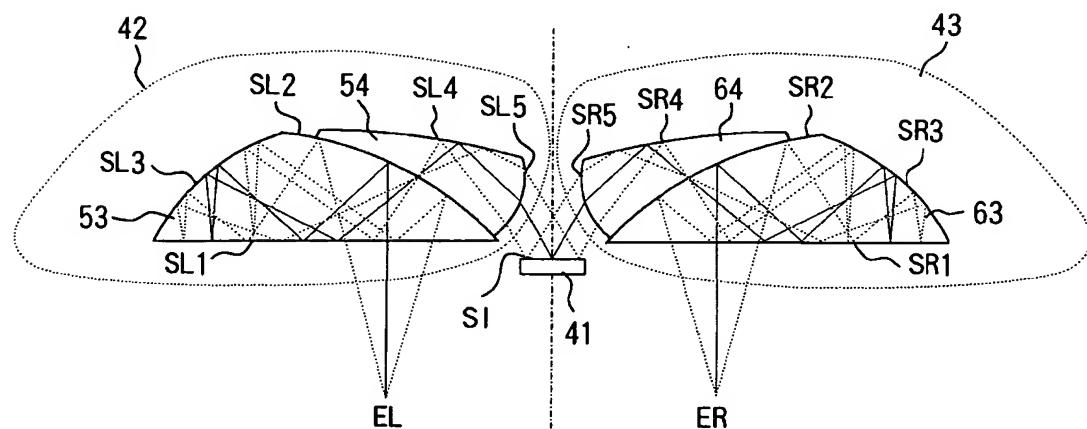
【図6】



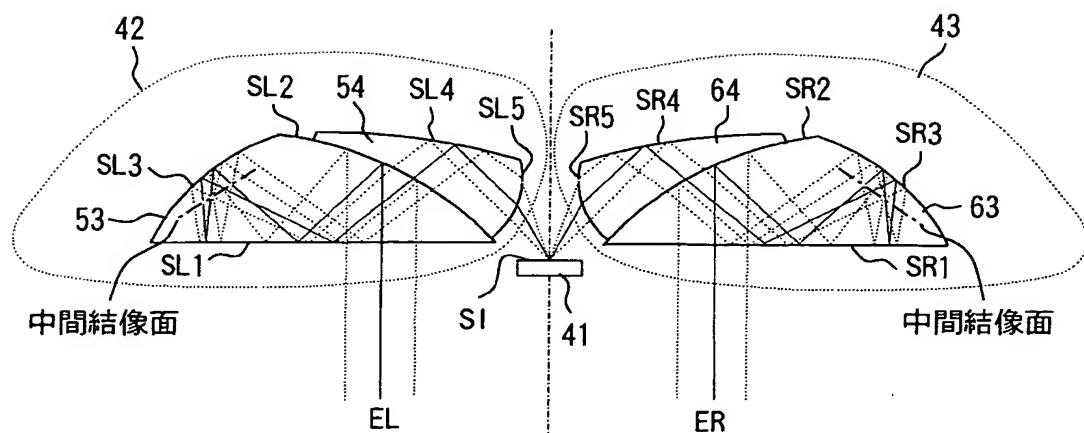
【図 7】



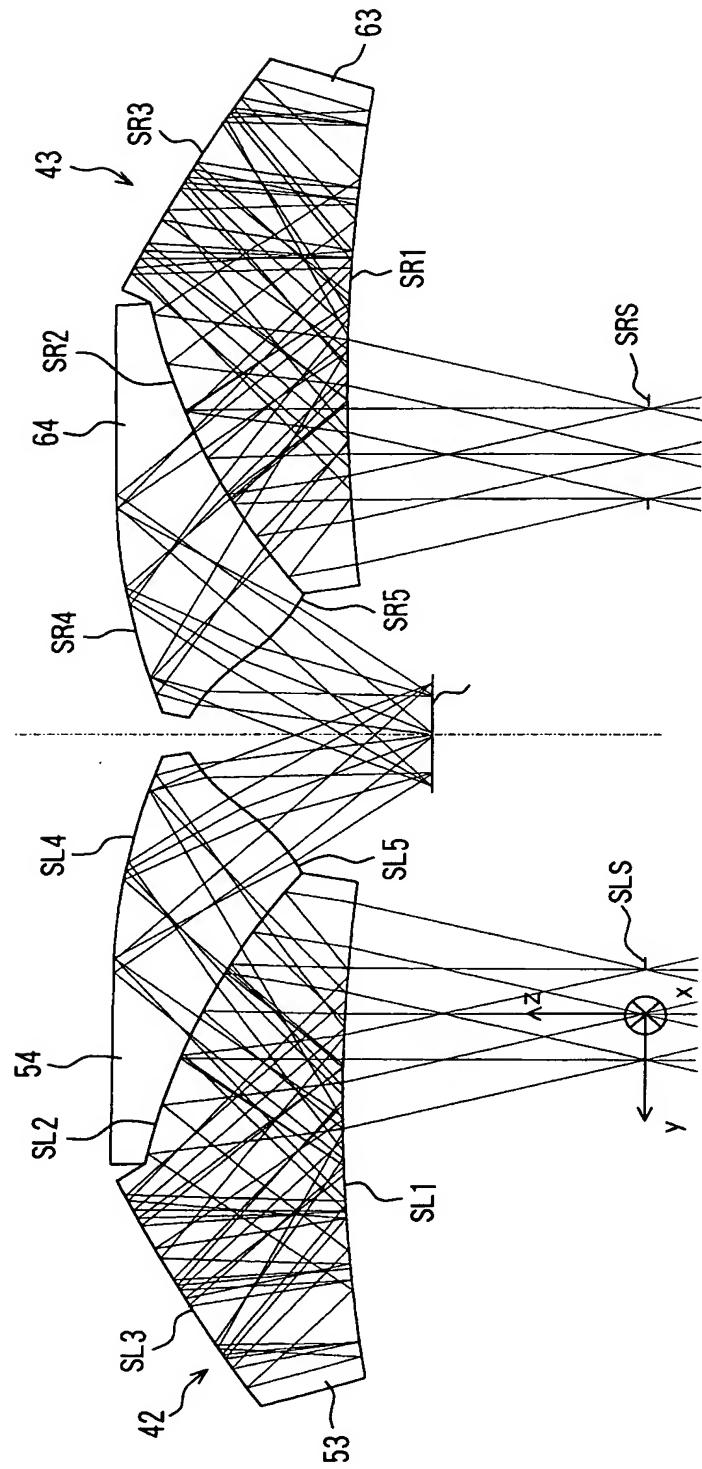
【図 8】



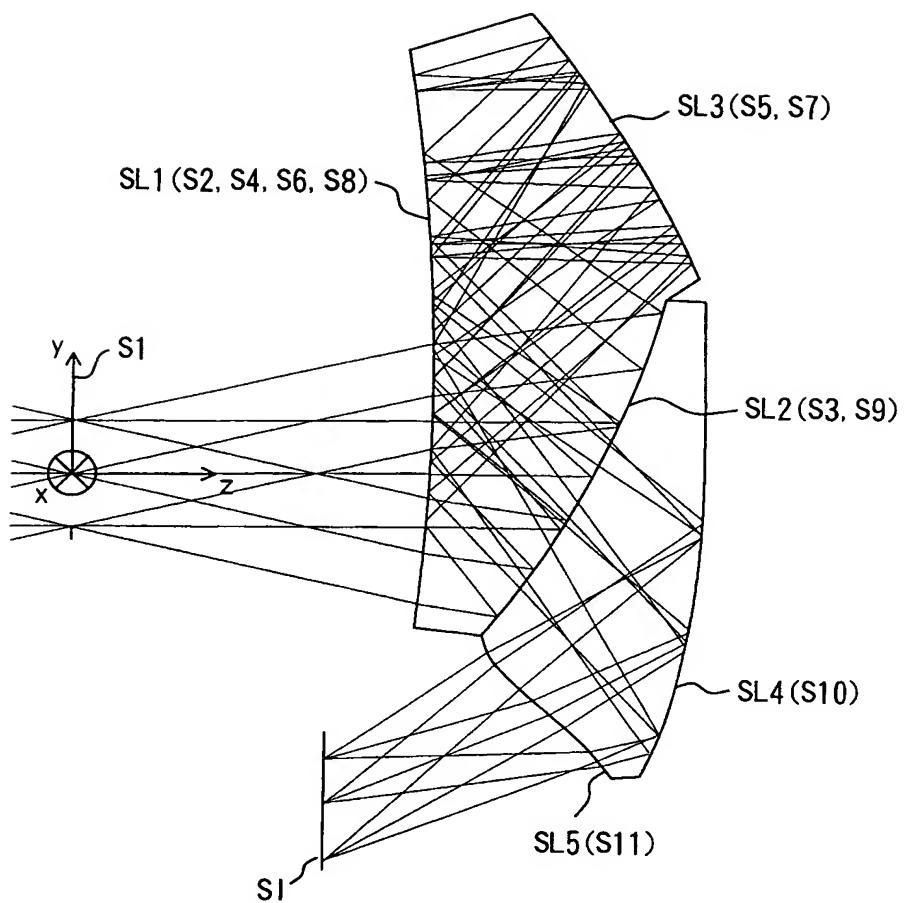
【図9】



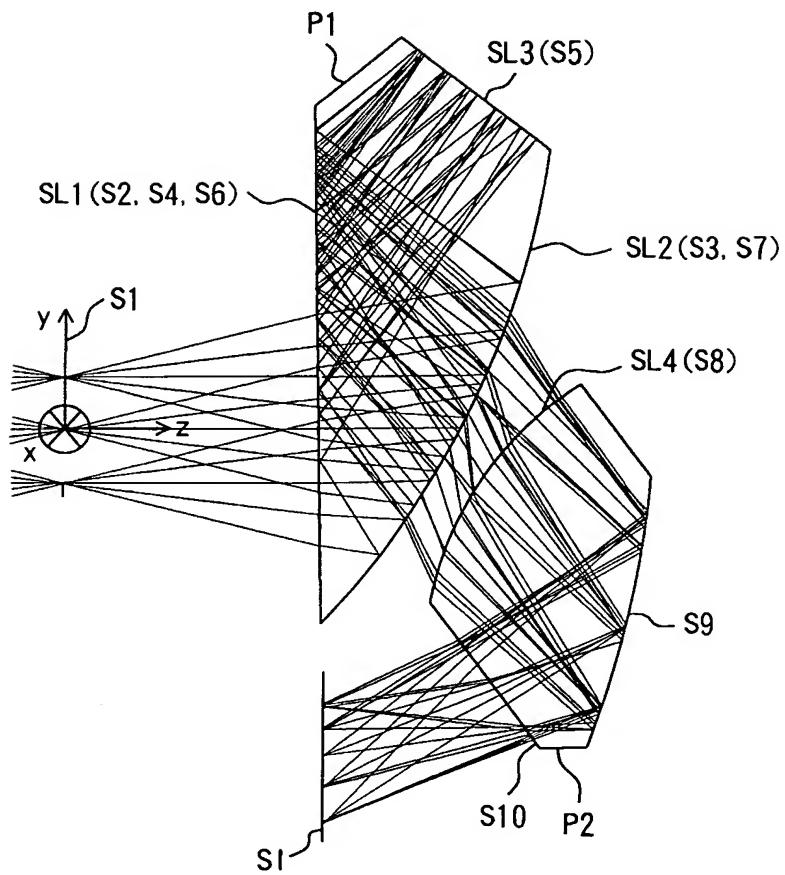
【図10】



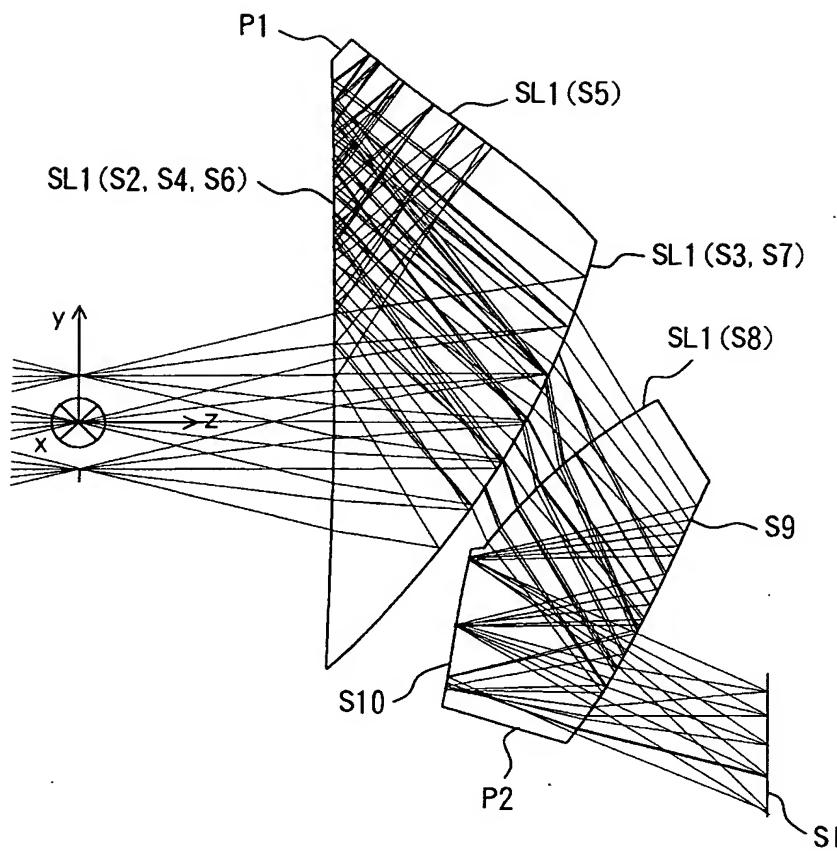
【図11】



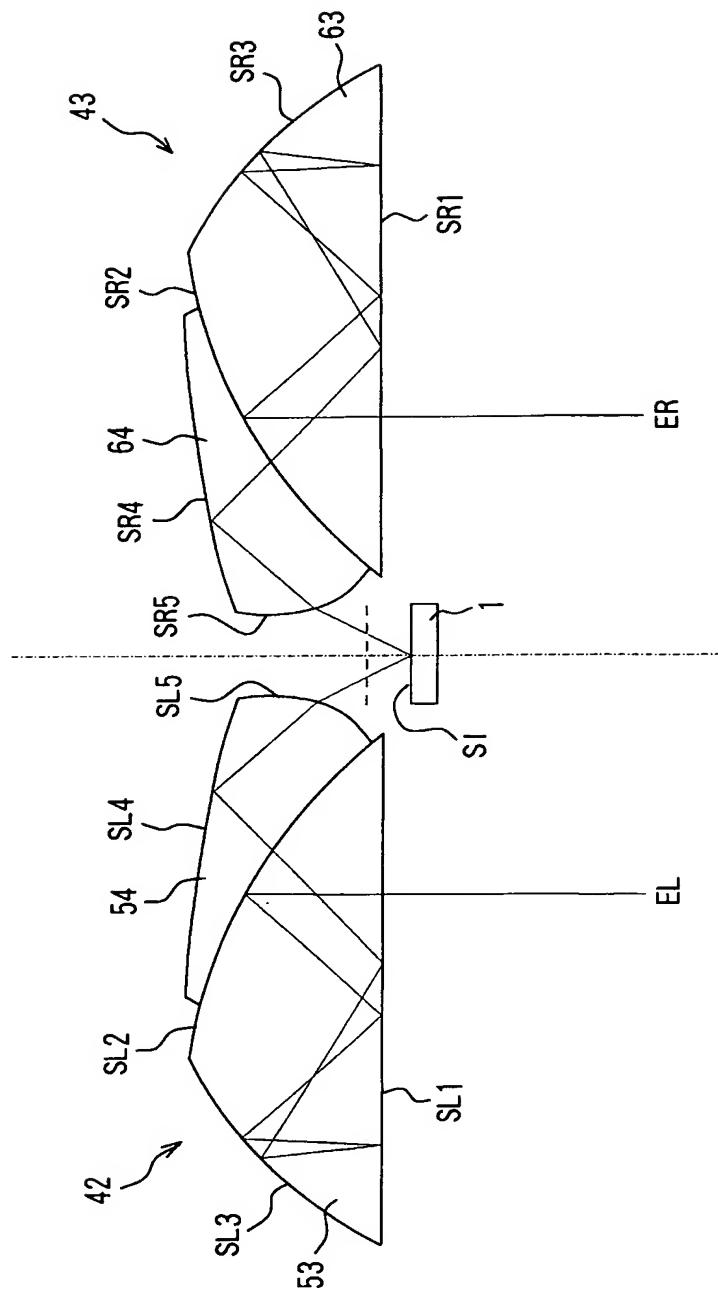
【図12】



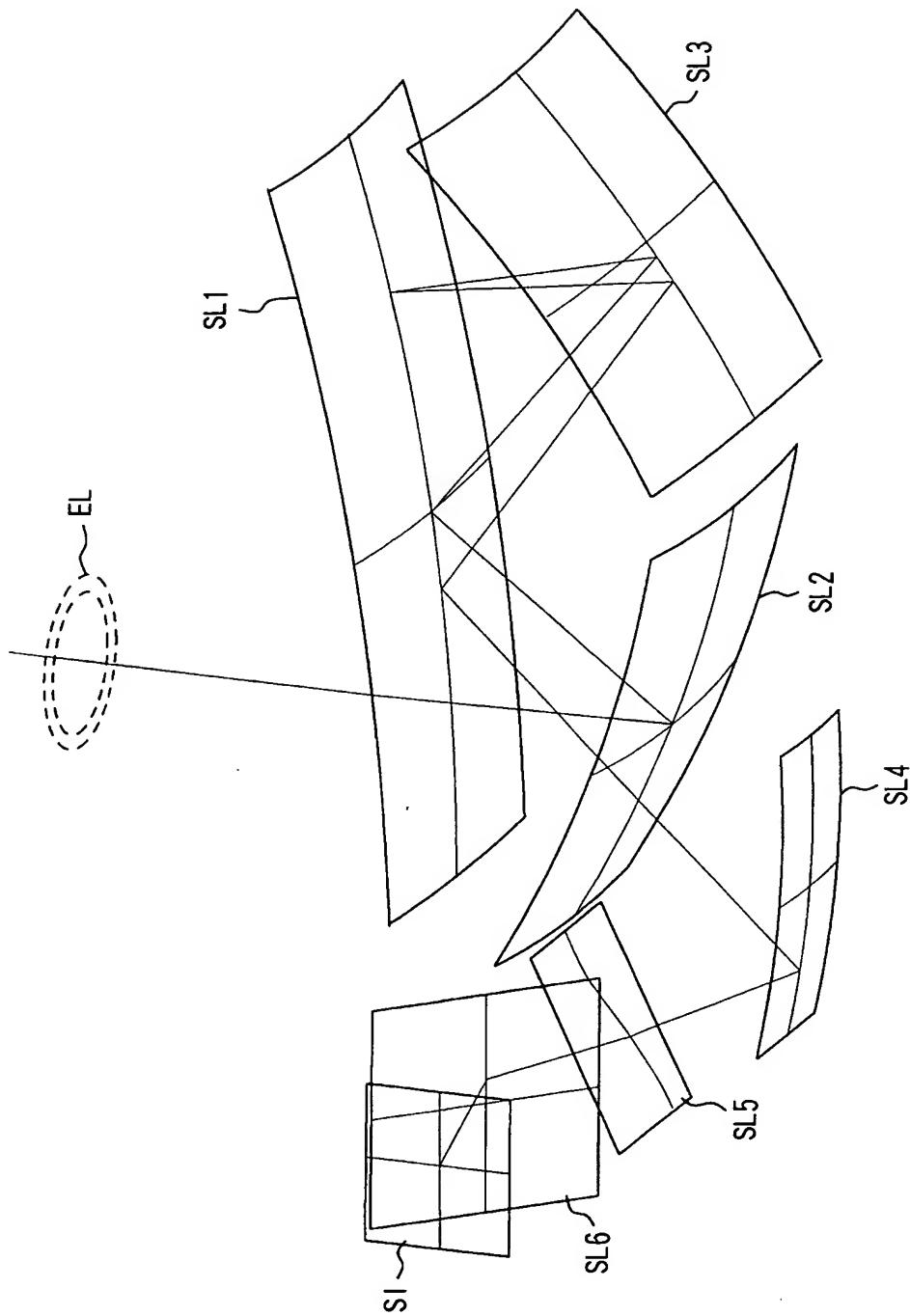
【図13】



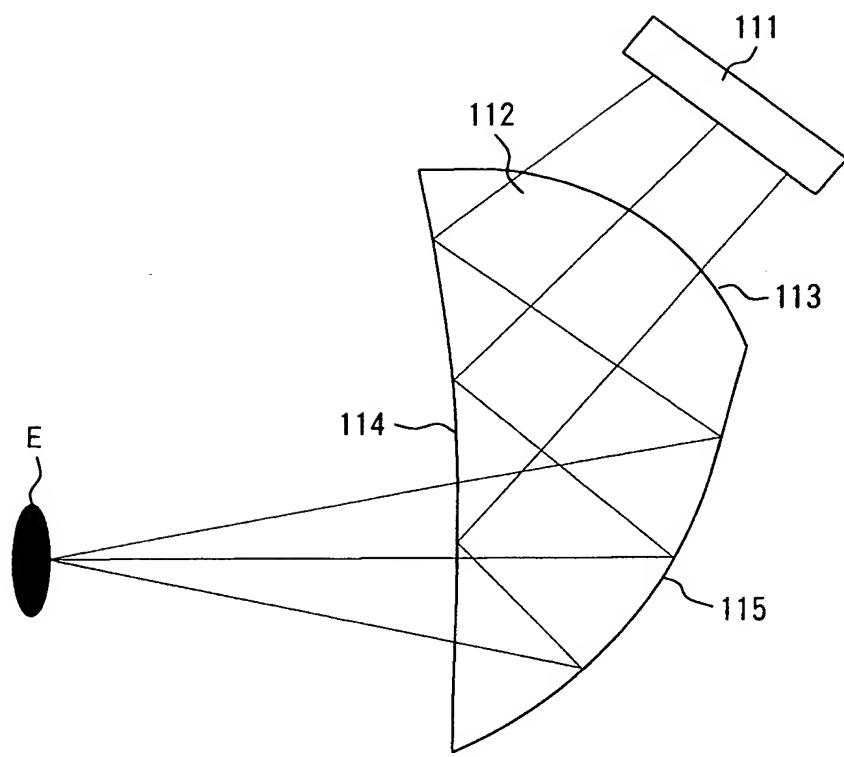
【図 14】



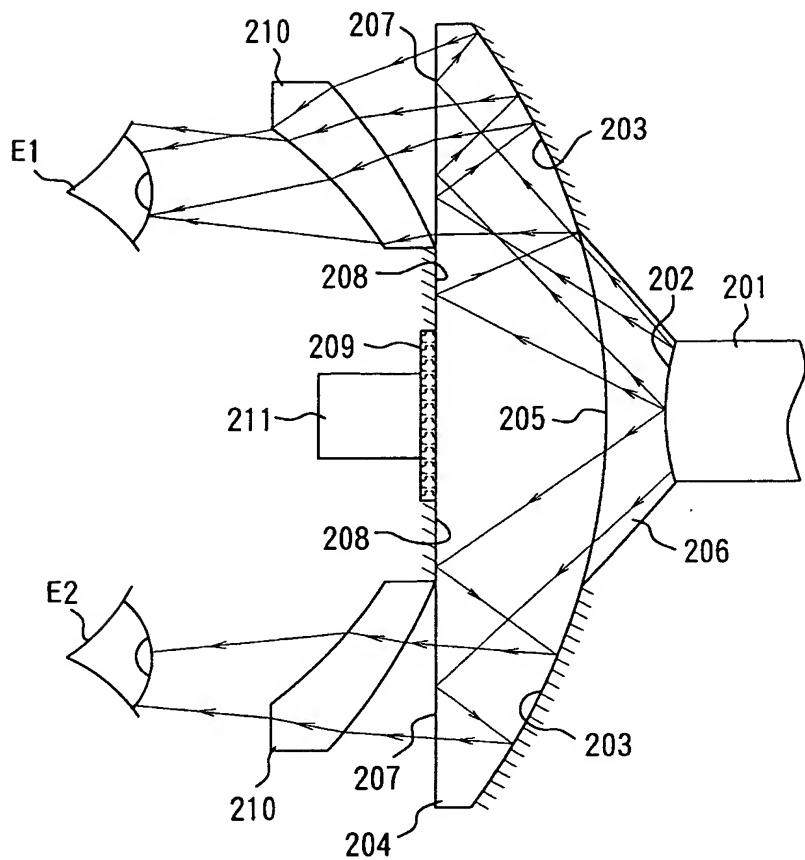
【図15】



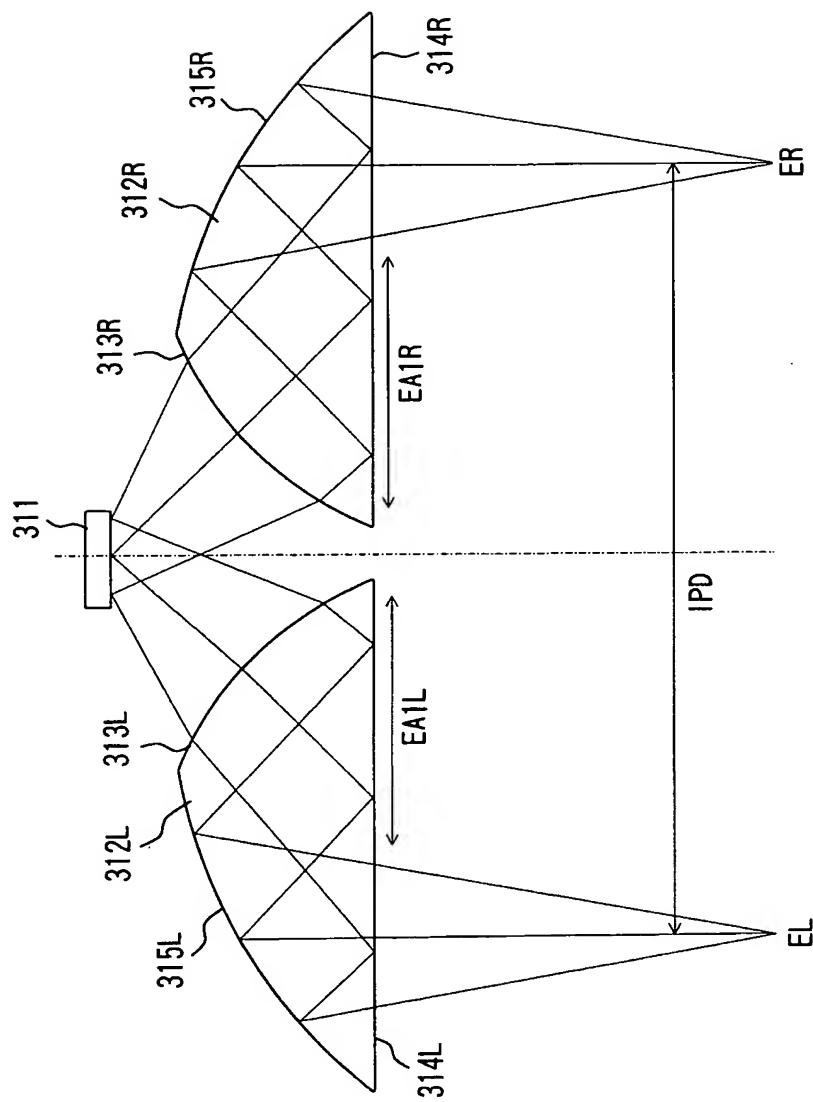
【図16】



【図17】



【図18】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 画像表示装置において、左右眼用の光学系の瞳間距離を観察者の眼幅に合わせると、大幅な広画角化は望めない。

【解決手段】 原画像を表示する单一の画像表示素子1と、画像表示素子からの光を瞳の近傍に配置される観察者の左右の眼E_L, E_Rに導く左眼用光学系2および右眼用光学系3とを有し、画像表示素子から瞳に進む光を瞳側から逆トレースしたとき、左眼用光学系および右眼用光学系がそれぞれ、瞳からの逆トレース光を左右方向外側に反射する第1の反射面S_L1, S_R1と、第1の面で反射した逆トレース光をさらに左右方向外側に反射する第2の反射面S_L2, S_R2とを設ける。また、左眼用光学系および右眼用光学系に、画像表示素子からの光を反射する第1の面S_L2, S_R2と、第1の面で反射した光を再度、第1の面で反射させるように反射して戻す第2の反射面S_L3, S_R3とを設ける。

【選択図】 図1

特願2002-352922

出願人履歴情報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
氏 名 キヤノン株式会社